



Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro Tecnológico  
Departamento de Engenharia Civil

Gabriel Lajús Maccarini

Análise de tráfego utilizando simulação macroscópica e microscópica

Florianópolis  
2018

**Gabriel Lajús Maccarini**

**Análise de tráfego utilizando simulação macroscópica e microscópica**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pelo acadêmico Gabriel Lajús Maccarini à banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Professor orientador: Alexandre Hering Coelho, Dr.

Florianópolis

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Maccarini, Gabriel Lajús

Análise de tráfego utilizando simulação macroscópica e  
microscópica / Gabriel Lajús Maccarini ; orientador,  
Alexandre Hering Coelho, 2018.

77 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Microsimulação de tráfego. 3.  
Macrossimulação de tráfego. 4. Planejamento de transportes.  
5. Modelo quatro etapas. I. Coelho, Alexandre Hering. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia Civil. III. Título.

Gabriel Lajús Maccarini

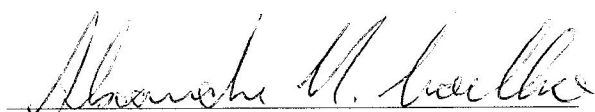
## **Análise de tráfego utilizando simulação macroscópica e microscópica**

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para obtenção do título de engenheiro civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 27 de novembro de 2018

Prof.<sup>a</sup>Dr.<sup>a</sup>Luciana Rohde  
Coordenadora do Curso

### **Banca examinadora**



Prof. Dr. Alexandre Hering Coelho  
Orientador

Prof.<sup>a</sup>Dr.<sup>a</sup>Liseane Padilha Thives

Dr. Jorge Destri

## Agradecimentos

Aos meus pais, Márcia e Mauro, pelo apoio, compreensão e por proporcionarem a vida que eu tenho.

À minha namorada, Marina, pelo amor e motivação, e sua família, pelo carinho que me proporcionam.

Aos amigos, pelos momentos felizes.

Aos professores, em especial ao meu orientador, prof. Dr. Alexandre Hering Coelho, pela ajuda durante toda a graduação.

## RESUMO

O planejamento de transportes é uma área de estudo que tem como objetivo a melhoria dos transportes de uma região, com a implantação de novos sistemas ou aprimorando os existentes. O ponto chave para essa melhoria, é a adequação da oferta à demanda presente ou futura. Um dos modelos utilizados para o planejamento dos transportes a médio e longo prazo é o modelo quatro etapas, sendo utilizada a sua última etapa, a de alocação de tráfego, para a execução das simulações de tráfego no presente trabalho. O trabalho tem como objetivo a análise do tráfego, com a execução de simulações do tipo macroscópica e microscópica, com os *softwares* *Visum* e *Vissim*, respectivamente, da *Planung Transport Verkehr* (PTV). A partir da microsimulação, criaram-se cenários alternativos para análise e comparação de seus resultados.

Palavras-chave: Planejamento de transportes; Modelo quatro etapas; Macrossimulação de tráfego; Microsimulação de tráfego.

# ABSTRACT

Transport planning is a study area that aims to improve the transportation of a region, with the implementation of new systems or improving the existing ones. The key point for this improvement is the adequacy of supply to present or future demand. One of the models used for medium and long-term planning is the classic transport model, using its last stage, the assignment, to perform the traffic simulations in this paper. The work aims at the traffic analysis, with the performance of macroscopic and microscopic simulations, with the softwares Visum and Vissim, respectively, of the Planung Transport Verkehr. From the micro-simulation, alternative scenarios were created to analyze and compare their results.

*Key-words: Transportation planning; Classic transport model; Traffic Macrossimulation; Traffic microsimulation.*

## Lista de Figuras

1	Desenvolvimento da simulação . . . . .	2
2	Estrutura do Modelo quatro etapas . . . . .	5
3	Distribuição de custos subjetivos por via . . . . .	9
4	Modelo de <i>car-following</i> de Wiedemann . . . . .	18
5	Parâmetros para mudança de faixa . . . . .	19
6	Tipos de colisões e suas angulações . . . . .	21
7	Ilha de Santa Catarina . . . . .	26
8	Representação linear da cidade de Florianópolis . . . . .	27
9	Divisão modal para o município de Florianópolis . . . . .	28
10	Média de tempos de viagem por modo de transporte para o município de Florianópolis . . . . .	28
11	Fluxograma representando a estrutura do trabalho . . . . .	29
12	Exportação da malha viária via <i>OpenStreetMap</i> . . . . .	30
13	Malha viária completa e pós filtragem das vias . . . . .	32
14	Importação do OSM para o Visum . . . . .	33
15	Malha viária utilizada na Macrossimulação de tráfego . . . . .	34
16	Ferramenta para filtragem no Qgis . . . . .	36
17	Setores Censitários de Florianópolis . . . . .	37
18	Setores Censitários de Florianópolis pós filtragem . . . . .	38
19	União dos dados de população ao <i>Shapefile</i> . . . . .	39
20	Setores Censitários de Florianópolis pós filtragem de população e renda . . . . .	40
21	Bairros de Florianópolis . . . . .	41
22	Mescla de feições selecionadas . . . . .	43
23	Bairros de Florianópolis utilizados para a criação dos centróides . . . . .	44
24	Checagem da malha viária no <i>Visum</i> . . . . .	46
25	Matriz Origem/Destino com dados de veículos . . . . .	47
26	Interseção escolhida para a microsimulação . . . . .	48
27	Zonas de conflito na interseção . . . . .	50
28	Criação dos grupos semafóricos . . . . .	50
29	Semáforos da interseção . . . . .	51
30	Estágios semafóricos da interseção . . . . .	52
31	Criação dos estacionamentos no <i>Vissim</i> . . . . .	53
32	Malha viária construída no <i>Vissim</i> . . . . .	54
33	Cenário alternativo com viaduto no <i>Vissim</i> . . . . .	56



34	Configuração do cruzamento para aplicação do modelo de Webster . . . . .	57
35	Diagrama de estágios para o cenário 3 . . . . .	57
36	Janela inicial do SSAM . . . . .	60
37	Dados de demanda da interseção no <i>Visum</i> . . . . .	61
38	Tempo de semáforo de acordo com o dimensionamento de Webster . . . . .	62
39	Comparação gráfica dos cenários . . . . .	66
40	Comparação gráfica dos cenários . . . . .	66
41	Comparação gráfica dos cenários . . . . .	66
42	Comparação gráfica dos cenários . . . . .	67
43	Comparação gráfica dos cenários . . . . .	67
44	Comparação gráfica dos cenários . . . . .	67
45	Comparação gráfica dos cenários . . . . .	69
46	Comparação gráfica dos cenários . . . . .	70
47	Mapa de colisões do cenário 1 . . . . .	70
48	Mapa de colisões do cenário 2 . . . . .	71
49	Mapa de colisões do cenário 3 . . . . .	71

## Lista de Tabelas

1	População urbana por regiões . . . . .	1
2	Forma genérica de uma matriz Origem/Destino bidimensional . . . . .	23
3	Bairros de Florianópolis . . . . .	42
4	Bairros mesclados . . . . .	43
5	Bairros utilizados para a criação dos centroides . . . . .	45
6	Matriz Origem-Destino com os dados do <i>Visum</i> . . . . .	54
7	Matriz Origem-Destino utilizada no <i>Vissim</i> . . . . .	55
8	Resultados do cenário 1 . . . . .	63
9	Resultados do cenário 2 . . . . .	64
10	Resultados do cenário 3 . . . . .	65
11	Resultados do cenário 1 . . . . .	68
12	Resultados do cenário 2 . . . . .	69
13	Resultados do cenário 3 . . . . .	69

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivos . . . . .	3
1.1.1	Objetivo geral . . . . .	3
1.1.2	Objetivos específicos . . . . .	3
1.2	Limitações do trabalho . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Revisão bibliográfica</b>	<b>4</b>
2.1	Planejamento de transportes . . . . .	4
2.1.1	Modelo quatro etapas . . . . .	4
2.1.2	Métodos de Alocação de Tráfego . . . . .	8
2.1.3	Dimensionamento de semáforos . . . . .	11
2.2	Seleção da ferramenta para análise de tráfego . . . . .	13
2.3	Simulação de tráfego . . . . .	16
2.3.1	Modelos de simulação macroscópicos . . . . .	16
2.3.2	Modelos de simulação microscópicos . . . . .	17
2.4	Análise de conflitos de tráfego . . . . .	19
2.4.1	<i>Surrogate Safety Assessment Model</i> - SSAM . . . . .	20
2.5	Elementos básicos para modelagem de infraestrutura e demanda . . . . .	21
2.5.1	<i>Cordon line</i> . . . . .	22
2.5.2	Zonas de tráfego . . . . .	22
2.5.3	Centróides . . . . .	22
2.5.4	Matriz Origem-Destino (O/D) . . . . .	22
2.5.5	Representação da malha viária . . . . .	23
2.5.6	Sistema de Informações Geográficas . . . . .	24
<b>3</b>	<b>Área de estudo</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>Método e aplicação na área de estudo</b>	<b>29</b>
4.1	Elaboração do modelo macroscópico . . . . .	30
4.1.1	Modelagem da infraestrutura viária . . . . .	30
4.1.2	Modelagem da demanda . . . . .	34
4.2	Elaboração dos modelos microscópicos . . . . .	48
4.2.1	Modelagem da infraestrutura viária . . . . .	48
4.2.2	Modelagem da demanda . . . . .	52

4.2.3	Cenários alternativos . . . . .	55
4.2.4	Análise de segurança . . . . .	59
<b>5</b>	<b>Resultados e análise comparativa</b>	<b>61</b>
5.1	Resultado da macrossimulação . . . . .	61
5.2	Resultado do dimensionamento semaforico do cenário 3 . . . . .	61
5.3	Resultados das microsimulações . . . . .	62
5.4	Análise de segurança . . . . .	68
<b>6</b>	<b>Conclusões</b>	<b>73</b>
6.1	Considerações finais . . . . .	73
6.2	Sugestões para trabalhos futuros . . . . .	73
	<b>Referências</b>	<b>75</b>
	<b>Anexos</b>	<b>78</b>

# 1 Introdução

Nas últimas décadas, o Brasil acompanhou a tendência mundial, sofrendo uma intensa urbanização. A partir da década de 1970, a maioria da população brasileira já vivia em cidades, como mostra a Tabela 1. Segundo o IBGE (2017), 76% da população brasileira vive em 26% das cidades existentes, com dados de 2010. Essas cidades tiveram um crescimento acentuado, na maioria das vezes, sem que os investimentos em infraestrutura acompanhassem a ocupação do solo.

Tabela 1: População urbana por regiões

Grandes Regiões	Proporção da população urbana (%)						
	1960	1970	1980	1991	1996	2000	2010
<b>BRASIL</b>	<b>44,67</b>	<b>55,92</b>	<b>67,59</b>	<b>75,59</b>	<b>78,36</b>	<b>81,25</b>	<b>84,35</b>
Norte	37,38	45,13	51,65	59,05	62,35	69,87	73,53
Nordeste	33,89	41,81	50,46	60,65	65,21	69,07	73,13
Sudeste	57,00	72,68	82,81	88,02	89,29	90,52	92,95
Sul	37,10	44,27	62,41	74,12	77,21	80,94	84,93
Centro-Oeste	34,22	48,04	67,79	81,28	84,42	86,73	88,80

Fonte: IBGE (2011)

Com isso, pensar as cidades para a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos se tornou uma tarefa cada vez mais importante. Em consequência desse fato, em 10 de julho 2001 foi sancionada a Lei nº 10.257, denominada Estatuto da Cidade, que estabelece diretrizes gerais da política urbana, sendo uma delas o transporte.

Ainda assim um dos maiores problemas das cidades brasileiras hoje, é a mobilidade urbana. Milhões de pessoas passam demasiado tempo em congestionamentos de veículos, muitas vezes devido à falta do planejamento urbano. As cidades cresceram sem plano diretor condizente com a realidade.

Com esse crescimento, há o desafio para os órgãos competentes de solucionarem esses impasses, gerenciando a oferta de transporte de acordo com a demanda futura ou já existente. Como há cada vez menos espaço para possíveis ampliações, devido a diferentes interesses para o uso do solo nas cidades, esse desafio torna-se mais difícil. Também, existem as dificuldades na realização de experiências de mudanças de tráfego à escala real (TAVARES; PEREIRA, 2015). Além disso, obras de tráfego urbano envolvem alterações na rotina dos cidadãos, existindo um tempo de adaptação aos que por ali transitam e vivem, sendo necessário diminuir ao máximo

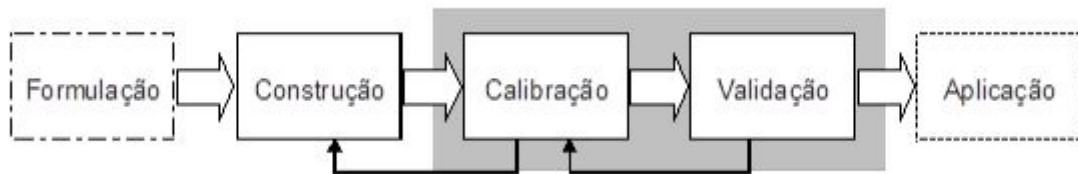
o tempo de obras.

Para que esses custos e imprevistos aos cidadãos sejam minimizados, há de se fazer estudos e pensar em boas alternativas.

Como opção de análise de tráfego, existem as ferramentas computacionais de simulação, que podem ser utilizadas para reproduzir os comportamentos do presente e futuro, com dados adequados e condizentes com a realidade, obtidos por pesquisas e estimativas de crescimento. Através delas, pode-se testar os projetos, identificar problemas, refinar e justificá-los, com o principal objetivo de poupar recursos econômicos.

Os projetos de simulação de tráfego são elaborados por etapas consequentes, como mostra a Figura 1.

Figura 1: Desenvolvimento da simulação



Fonte: TAVARES; PEREIRA (2015)

- Formulação: análise do problema, com a definição dos objetivos (CORREIA, 2015);
- Construção: elaboração do modelo, escolha do método de simulação, coleta de dados (CORREIA, 2015);
- Calibração: Barceló (2011) diz que é o processo de obtenção e definição dos parâmetros da configuração de campo, afim de que esses parâmetros possam refletir os valores reais;
- Validação: verifica se as estimativas do modelo calibrado funcionam em situações distintas das utilizadas na fase de calibração, garantindo que as conclusões obtidas pelo modelo são aplicáveis ao sistema real (TAVARES; PEREIRA, 2015);
- Aplicação: a fase final, execução da simulação com cenários atuais e/ou com a criação de cenários alternativos, experimentação, para a análise dos resultados (CORREIA, 2015).

Esse trabalho apresenta o uso de dois tipos de simulação: macroscópica e microscópica, sendo a área de estudo, a Ilha de Santa Catarina, parte do município de Florianópolis, com os simuladores Visum e Vissim, da *Planung Transport Verkehr Group* (PTV Group).

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo geral

Elaborar e analisar um modelo de tráfego em nível macroscópico de uma área de estudo urbana e, posteriormente, empregar a técnica de simulação em nível microscópico para analisar uma situação pontual nessa área, com diferentes cenários.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Contextualizar, dentro dos procedimentos relacionados com o planejamento de transportes, o uso de técnicas de simulação.
- Analisar a aplicabilidade da simulação em níveis macroscópico e microscópico para o cenário de tráfego urbano.
- Analisar a disponibilidade de dados necessários para a elaboração de modelos de simulação em níveis macroscópico e microscópico.
- Delimitar um conjunto necessário e suficiente de ferramentas para a elaboração de modelos de simulação de tráfego macroscópico e microscópico.
- Explorar os resultados que podem ser obtidos através de modelos de simulação para apoiar a decisão sobre cenários alternativos de oferta.
- Averiguar e comparar os resultados da análise dos conflitos de tráfego para os diferentes cenários da microssimulação.

## 1.2 Limitações do trabalho

O presente trabalho conta com as seguintes limitações.

- Indisponibilidade dos dados reais de demanda. Utilizou-se dados fictícios.
- Limitação da versão de estudante do *software* de macrossimulação *Visum*, sendo possível utilizar 1500 *links*, 500 nós, 30 zonas de tráfego, com o *software* aberto por 45 minutos.
- Limitação da versão de estudante do *software* de microssimulação *Vissim*, sendo possível simular 10 minutos do modelo viário.

## **2 Revisão bibliográfica**

A revisão bibliográfica aborda conceitos de planejamento de transportes e simulação de tráfego, necessários para o entendimento do trabalho.

### **2.1 Planejamento de transportes**

Segundo Campos (2013), planejamento de transportes tem como objetivo a adequação da oferta com a demanda presente e/ou futura, melhorando os deslocamentos dos usuários da malha viária.

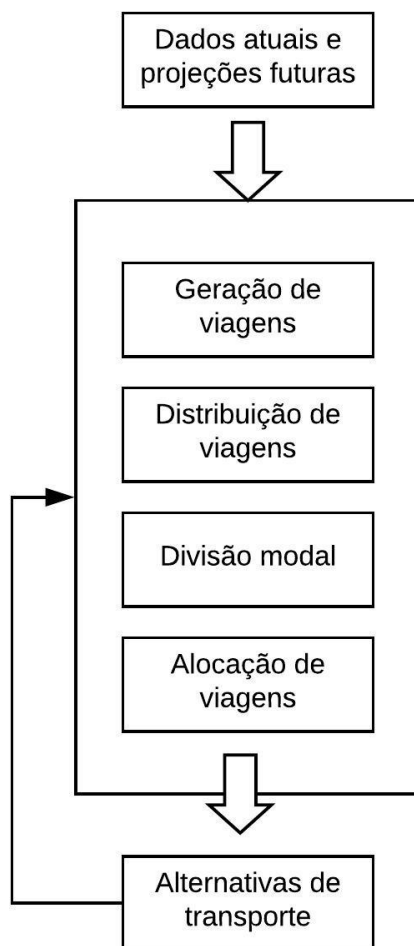
Para isso, alguns aspectos devem ser definidos e conceitos abordados.

#### **2.1.1 Modelo quatro etapas**

O modelo quatro etapas de transportes, também chamado de “Modelo Sequencial”, compreende quatro etapas: geração, distribuição, divisão modal e alocação de viagens (CAMPOS, 2013), como mostra a Figura 2.



Figura 2: Estrutura do Modelo quatro etapas



Fonte: CAMPOS (2013).

**Geração de Viagens:** o objetivo dessa etapa é estimar o número de viagens que se iniciam ou terminam em cada zona de tráfego. Existem dois tipos de viagens: as viagens produzidas em uma zona de tráfego, que são as que se iniciam nela; e as viagens atraídas, que são as que têm como destino ela. A soma de viagens produzidas e atraídas nos fornece o total de viagens geradas (geração = produção + atração) (CAMPOS, 2013).

Segundo Mello (1981, p. 29),

[...] são empregados modelos matemáticos, geralmente funções de regressão múltipla ajustadas pelo critério dos mínimos quadrados, para determinar o número de viagens [...]. Através destas funções, o tráfego é relacionado às variáveis socioeconômicas da área em estudo [...]. O resultado da aplicação dos modelos de geração é o número de viagens produzidas, ou atraídas, por zona de tráfego.

De acordo com Ortuzar e Willumsen (2001), as variáveis são: para produção, a renda, propriedade de automóvel, estrutura do domicílio, tamanho da família, valor do solo, densidade residencial, acessibilidade, etc; e para atração, o número de empregos ofertados, o nível de atividade comercial e o número de matrículas escolares. A confiabilidade dos resultados dependerá dos cuidados tomados na fase de coleta desses (MELLO, 1981). No fim, o resultado se dá de acordo com o horizonte futuro que o estudo se propôs a definir.

**Distribuição de Viagens:** com a estimativa de viagens é feita a distribuição delas entre pares de zona de tráfego (CAMPOS, 2013), resultando na matriz Origem/Destino (O/D). Segundo Ferreira (1999, p.73), “a distribuição sintetiza os fluxos origem-destino sem necessariamente tratar dos modos disponíveis nem das rotas utilizadas para efetuar o transporte”.

Genericamente, os modelos de distribuição de viagens podem ser definidos pela Equação (1):

$$t_{ij} = f \left( \begin{array}{c} \text{variáveis sócioeconômicas entre i e j,} \\ \text{viagens produzidas em i e atraídas para j,} \\ \text{separação espacial ou custo entre i e j} \end{array} \right) \quad (1)$$

“Onde  $t_{ij}$  representa o número de viagens entre i e j no intervalo de tempo considerado” (PAIVA, 2010, p.9).

Segundo Dos Santos (2010), os métodos utilizados para a distribuição de viagens podem ser divididos em dois grupos:

1. Métodos de fatores de crescimento a matriz O/D: método do crescimento uniforme, método do crescimento médio, Método de Fratar e Método de Furness;
2. Métodos sintéticos, sendo o mais utilizado o Modelo Gravitacional.

Essa etapa depende fundamentalmente da etapa anterior (MELLO, 1981).

**Divisão Modal:** De acordo com Novaes (1986, p.44) “a análise de divisão modal visa identificar as frações das viagens entre um par de zonas i e j qualquer, desagregadas pelos diferentes modos ou meios de transportes alternativos”.

A escolha desses modos é um dos estágios mais importantes no planejamento de transportes (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2001). Para isso, a matriz O/D de viagens deve ser dividida em matrizes O/D por meios de transporte, uma para cada (CAMPOS, 2013).

Essas divisões são feitas com base nos fatores que o usuário dos modos de transporte utilizam

para fazer sua escolha. Influenciam na escolha do modo características socioeconômicas e características dos serviços (CAMPOS, 2013), sendo muito particulares (MELLO, 1981). Segundo Paiva (2010, p.16), geralmente são considerados os seguintes parâmetros para a escolha:

1. “atributos do deslocamento (motivo da viagem, período de realização e destino)”;
2. “atributos do usuário (propriedade de veículos, renda e estrutura familiar, nível cultural)”;
3. “atributos do sistema de transporte (custo e tempo de viagem, tempo de espera, de transbordo ou andando, frequência, conforto e acessibilidade)”.

São utilizados métodos para “dividir” a matriz de O/D de viagens em matrizes de O/D por modo de transporte. Campos (2013, p.93) diz que dois tipos de modelos de divisão modal são utilizados:

1. Determinísticos: “buscam determinar a proporção de viagens por cada modo utilizando métodos quantitativos simples.”
2. Probabilísticos: “relacionam a fração de viagem destinada a cada modo com a probabilidade de escolha de cada um.”

**Alocação de tráfego:** Nessa última etapa, busca-se a definição das rotas entre cada par de zonas de tráfego, para cada modo (CARDOSO, 1999). De acordo com Ortuzar e Willumsen (2001), além da produção de fluxos de tráfego na malha viária, outros objetivos são importantes nessa etapa, que ele divide como primários e secundários:

1. Primários: obter fluxos de tráfego razoáveis com a realidade e identificar as vias congestionadas; estimar os custos de viagens entre zonas para um determinado nível de demanda; obter boas medidas e conclusões da rede por modal.
2. Secundários: estimar as rotas usadas em cada par de matriz O/D; analisar quais pares de matrizes utilizam determinada rota ou via; analisar movimentos para a concepção de futuros cruzamentos.

Os modelos de alocação de tráfego têm por objetivo avaliar a distribuição do fluxo numa rede, a partir do cálculo da demanda de tráfego entre as várias origens e destinos da rede, tendo como base caminhos mínimos entre zonas (CAMPOS, 2013).

Logo, o problema de alocação divide-se em dois problemas: de escolha de rotas e de distribuição de fluxos nelas.

- Escolha de rotas e distribuição de fluxos: A premissa básica da escolha de rota na alocação de tráfego é a suposição de um usuário da malha viária escolhendo a rota que oferece os menores custos. Alguns fatores são pensados para influenciar a escolha da rota: tempo de viagem, distância, custo monetário, congestionamento e filas, tipo de estrada, paisagem, sinalização, obras rodoviárias, hábito (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2001).

Por não ser prático modelar todos esses fatores, uma aproximação comum é a consideração de apenas tempo e custo na escolha da rota. Além disso, o custo é considerado proporcional à distância percorrida. Com a definição de pesos para esses dois fatores, a soma ponderada deles torna-se um custo generalizado usado para estimar a escolha da rota.

Nem todos os motoristas utilizam as mesmas rotas. Ortuzar e Willumsen (2001) nos sugerem três razões para isso:

1. Efeito de classes de usuários : diferenças nas percepções individuais do que constitui o melhor caminho. Alguns podem querer minimizar tempo, outros consumo de combustível e outros uma combinação de ambos;
2. Efeitos estocásticos: o nível de conhecimento de rotas não consideradas como principais;
3. Efeitos de congestionamento: afetam as rotas mais curtas e os seus custos inicialmente mais atraentes.

### 2.1.2 Métodos de Alocação de Tráfego

- Modelo Tudo-ou-Nada: é o método mais simples de alocação, que encontra a rota de menor custo e nela aloca todo o fluxo entre zonas de tráfego. (NOVAES, 1981)

Considera-se que não há efeitos de congestionamento e que todos os motoristas consideram os mesmos atributos para a escolha da rota. A ausência de efeitos de congestionamento significa que os custos são fixos, ou seja, motoristas que tem a mesma origem e destinos devem escolher a mesma rota. Essas considerações são aceitáveis em redes não congestionadas e bastantes esparsas, onde há poucas rotas alternativas e elas tem custos muito diferentes (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2001). De acordo com Campos (2013), esse método verifica os segmentos que estão mais carregados de veículos, que podem significar gargalos na malha viária. Não leva em consideração efeitos estocásticos, sendo sua utilidade principal trabalhar como um bloco de construção básico para outros tipos de técnicas de atribuição (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2001).

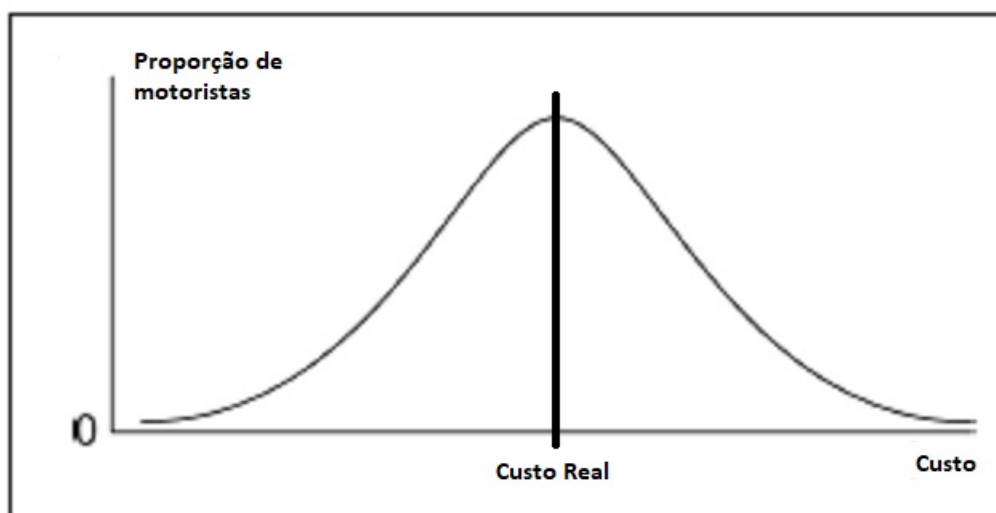
- Modelos Estocásticos: Como diferentes condutores tem diferentes comportamentos, ou

seja, escolhem diferentes rotas, de acordo com suas percepções de tempo, distância, economia de combustível, entorno, entre outros. E nada garante que no dia seguinte as mesmas percepções serão mantidas. Portanto, os modelos estocásticos estão sujeitos à aleatoriedade de alguns fatores, trabalhando com simulações iterativas do mesmo caso, gerando resultados diferentes a cada iteração (PAIVA, 2010).

Dois métodos tiveram uma boa aceitação para incorporar os efeitos estocásticos: métodos baseados em simulação e em proporção (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2001).

As técnicas de simulação utilizam a Simulação de Monte Carlo, que segundo Mendes (2011, p. 26) “[...] consiste em simular centenas ou milhares de cenários possíveis para as várias variáveis exógenas e obter não um conjunto reduzido de resultados mas uma distribuição de valores possíveis”. Isso tem como objetivo representar a variabilidade da percepção de menor custo entre dois pontos de cada motorista (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2001). Ela varia de um método desenvolvido por Burrell (1968), que presume que para cada via da malha viária há custos estimados por um observador, que são os custos reais e custos subjetivos, da percepção de cada motorista. Esses custos subjetivos, para cada via, nos fornecem uma distribuição, onde alguns modelos utilizam distribuição normal (Figura 3) e outros uniforme, sendo que os custos reais são a média da distribuição (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2001).

Figura 3: Distribuição de custos subjetivos por via



Fonte: Adaptado de Ortuzar e Willumsen (2001).

Os resultados finais dependem da série de números aleatórios usados na simulação, como em todos os métodos de Monte Carlo. Aumentar o valor de iterações aumenta a eficácia (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2001).

Os métodos de proporção referem-se a uma família de algoritmos que dividem o tráfego entre todas as saídas possíveis de um nó para o outro, através de um fator de divisão  $f_i$ , onde o mais difundido é o método proposto por Dial (1971) (PAIVA, 2010), que segundo (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2001) propõe  $f_i$  como:

$$f_i = \exp^{(-\Omega \delta d_i)} \quad (2)$$

Sendo:

$\Omega$  um parâmetro de controle para a propagação de viagens entre rotas;

$\delta d_i$  o custo extra de viajar de um ponto à outro por outro caminho que não seja o de custo mínimo.

Caminhos com rotas de maior custo tem  $\delta d_i > 0$ , logo seus valores de  $f_i$  são menores que 1. Conclui-se que caminhos menores são favorecidos à caminhos com maiores custos (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2001).

- Modelos de Equilíbrio: São aqueles nos quais o custo de viagem em cada ligação da malha viária pode depender tanto do fluxo nela quanto do fluxo em outras ligações (CAMPOS, 2013), ou seja, os custos dependem da procura por via.

Dois princípios, propostos por Wardrop (1952), serviram de base para a criação de métodos para a distribuição de tráfego (CAMPOS, 2013):

1. Primeiro princípio de Wardrop: "Sob condições de equilíbrio, o tráfego se organiza em redes congestionadas, de modo que todas as rotas entre um par Origem-Destino têm custos iguais e mínimos, enquanto todas as rotas não utilizadas têm custos maiores ou iguais." (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2001, p. 367)

Ele também é chamado por princípio de equilíbrio do utilizador (DUARTE, 2012).

2. Segundo princípio de Wardrop: "Sob condições de equilíbrio social, o tráfego deve ser organizado em redes congestionadas de tal maneira que o custo de viagem médio (ou total) é minimizado." (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2001, p. 368)

Também conhecido como princípio de equilíbrio do sistema (DUARTE, 2012)

O primeiro princípio nos dá a ideia de que os condutores escolhem seus percursos independentemente e no seu interesse, com base nas condições de tráfego; já de acordo com o segundo princípio os condutores cooperam na escolha de trajetos, criando um padrão de

tráfego que beneficie à comunidade. O fluxo resultante dos dois princípios são diferentes, mas a escolha individualista, do primeiro princípio, é a mais realista (PAIVA, 2010).

**Método de equilíbrio para o usuário:** Segundo (CAMPOS, 2013), o método baseia-se no primeiro princípio de Wardrop e tem como objetivo alocar o fluxo de tal forma que os tempos de viagem sejam iguais nas rotas utilizadas. Quando existem duas rotas para se alocar o fluxo, a distribuição se faz igualando-se os tempos de viagem. Quando existem 3 rotas ou mais, utiliza-se a equação:

$$\text{Min } y(x) = \sum_n \int_0^{x_n} t_n(w)dw \quad (3)$$

Onde:

$n$ : número de rotas;

$t_n(w)$ : função de desempenho na rota  $n$ ;

$x_n$ : fluxo alocado na rota  $n$ .

**Método do sistema otimizado:** Campos (2013) diz que o método baseia-se no segundo princípio de Wardrop. Trata-se de uma situação ideal, onde busca-se uma distribuição de fluxo para que o custo total de viagens dos usuários seja minimizado. Os usuários devem estar dispostos a mudar de rota para que o custo do sistema como um todo seja o mínimo possível. Matematicamente:

$$\text{Min } y(x) = \sum_n x_n t_n(x_n) \quad (4)$$

Onde:

$x_n$ : fluxo na rota  $n$ ;

$t_n(x_n)$ : função de desempenho da rota  $n$ ;

Condições:  $x_n \geq 0$  e  $\sum_n x_n = q$ ;

$q$ : fluxo total a ser alocado entre matrizes O/D.

### 2.1.3 Dimensionamento de semáforos

O dimensionamento de semáforos consiste em determinar seus tempos de operação. Para semáforos isolados, aqueles que não possuem relação com os semáforos das próximas interseções<sup>1</sup>, são os tempos de ciclo e tempos de verde para cada fase.

---

<sup>1</sup>Disponível em: <[http://meusite.mackenzie.br/professor\\_cucci/texto2.pdf](http://meusite.mackenzie.br/professor_cucci/texto2.pdf)>. Acesso em: 20 nov. 2018

**Método de dimensionamento de Webster** Um dos métodos mais utilizados para dimensionar semáforos é trazido por Webster e Cobbe (1966).

Inicialmente, calcula-se o fluxo de saturação  $S_B$ , dado pela Equação 5, para aproximações com larguras entre 5,5 a 18 metros.

$$S_B = 525 \times L \quad (5)$$

Onde:  $S_B$  = fluxo de saturação básico (veículos/hora de tempo de verde);

$L$  = largura de aproximação (metros).

Em sequência, a taxa de ocupação para cada aproximação da interseção com a Equação 6.

$$y_i = \frac{q_i}{S_i} \quad (6)$$

Onde:  $y_i$  = taxa de ocupação para a aproximação  $i$ ;

$q_i$  = demanda para a aproximação  $i$  (veículos/hora);

$S_i$  = fluxo de saturação para a aproximação  $i$  (veh/htv).

A taxa de ocupação diz se a semaforização é ou não indicada na interseção. Valores de  $y$  maiores que 1 indicam que ela não é a melhor alternativa, sendo mais indicado uma rótula ou interseção em desnível.

Para cada aproximação de cada estágio é verificado o maior valor da taxa de ocupação. Este será o  $y$  crítico do estágio semafórico. A soma dos  $y$  críticos fornece o  $Y$  crítico da interseção, de acordo com a Equação 7.

$$Y = \sum y_{critico} \quad (7)$$

É necessário quantificar os tempos perdidos por fase. Ele é relacionado com o tempo de verde efetivo, que é o tempo de verde realmente disponível para a travessia de veículos em uma fase, e o tempo de verde de foco, o tempo total de verde. O tempo perdido é calculado com a Equação 8:

$$I = g + A - g_{ef} \quad (8)$$

Onde:  $I$  = tempo perdido na fase (s);

$g$  = tempo de verde de foco (s);

$g_{ef}$  = tempo de verde efetivo (s);

$A$  = tempo de amarelo (s).



Calcula-se também a soma de todos os tempos perdidos na interseção  $T_P$ , com a Equação 9.

$$T_P = \sum I_i \quad (9)$$

O próximo passo é o cálculo do tempo de ciclo ótimo para a interseção semaforizada (Equação 10).

$$T_{CO} = \frac{1,5 \times T_P + 5}{1 - Y} \quad (10)$$

Onde:  $T_{CO}$  = tempo de ciclo ótimo (s).

Para finalizar o dimensionamento do tempo semafórico, calcula-se para cada estágio os tempos de verde efetivo (Equação 11) e os tempos de verde de foco (Equação 12).

$$g_{efi} = \frac{y_{crit_i}}{Y} \times (T_{CO} - T_P) \quad (11)$$

Onde:  $g_{efi}$  = tempo de verde efetivo para a aproximação  $i$  (s).

$$g_i = g_{efi} + I_i - A \quad (12)$$

Onde:  $g_i$  = tempo de verde de foco (s).

## 2.2 Seleção da ferramenta para análise de tráfego

O conteúdo dessa seção foi obtido em FHWA (2004b).

São sete as categorias de análise de tráfego urbano:

1. Ferramentas de planejamento de esboço: produzem estimativas da demanda de viagens e operações de tráfego em resposta a melhorias no transporte. Elas permitem a avaliação de projetos específicos e/ou alternativas sem realizar uma análise detalhada da engenharia. As ferramentas de planejamento de esboço executam algumas ou todas as funções de outras ferramentas analíticas, usando técnicas simplificadas e dados agregados. Tais técnicas são usadas principalmente para preparar orçamentos e propostas preliminares, e não são consideradas um substituto para a análise detalhada da engenharia, necessária para o processo de implementação. Portanto, as abordagens de planejamento de esboço são tipicamente mais simples e menos onerosas.
2. Modelos de demanda de viagens: são modelos matemáticos que prevêm a demanda de viagens futuras com base nas condições atuais e nas projeções futuras das famílias e características de emprego. Eles foram desenvolvidos originalmente para determinar os

benefícios e o impacto das principais melhorias nas rodovias de áreas metropolitanas. Esses modelos têm recursos limitados para estimar com precisão as mudanças nas características (como velocidade, atraso e enfileiramento) resultantes da implementação de novas estratégias operacionais.

3. Ferramentas analíticas / determinísticas: elas implementam os procedimentos do *Highway Capacity Manual* (HCM). Insere-se os dados e os parâmetros e, após uma sequência de etapas analíticas, os procedimentos do HCM produzem uma única resposta, o nível de serviço, podendo ser analisados densidade, velocidade, atraso, capacidade das vias. Essas ferramentas são adequadas para analisar o desempenho de instalações de transporte isoladas ou de pequena escala, sendo limitadas em sua capacidade de analisar os efeitos da rede ou do sistema.
4. Ferramentas de otimização de sinais de tráfego: Similar às ferramentas analíticas / determinísticas, são baseadas principalmente nos procedimentos do HCM, porém são projetadas para desenvolver fases otimizadas e planos de temporização para interseções isoladas, vias arteriais ou redes complexas.
5. Modelos de simulação macroscópicos de tráfego: baseiam-se nas relações determinísticas do fluxo, velocidade e densidade do fluxo de tráfego na malha viária. A simulação em um modelo macroscópico apresenta menos variáveis e detalhes do que uma microsimulação, e simula o fluxo de tráfego como um todo, seção-a-seção, em breves incrementos de tempo, ao invés de rastrear os veículos individualmente. Os modelos operam com base em dados agregados das relações velocidade/volume e demanda/capacidade.  
  
Utiliza-se para a simulação de grandes áreas, como uma cidade. Com a macro-simulação é possível obter dados como isócronas, caminhos mais curtos, volumes para cada via comparando com suas capacidades de tráfego, volumes nas interseções, atrasos provocados por congestionamentos, tempos de percurso.
6. Modelos de simulação microscópicos de tráfego: simulam cada veículo individualmente, sendo mais rico em detalhes e tentando reproduzir fielmente cada modo. Adequado para áreas menores, como cruzamentos simulados anteriormente na macro-simulação que se ache adequada uma nova análise, praças de pedágio, entornos de portos marítimos. Também pode ser utilizado para a simulação de eventos extraordinários, como testes de esquemas especiais do transporte coletivo, eventos esportivos que mudem o tráfego comum da cidade com o fechamento de vias. Com a microsimulação é possível obter dados como nível de serviço, tempo de viagem, atraso, comprimento de fila, consumo de combustível,

emissão e poluentes e uma série de outros indicadores a partir da reprodução de condições de tráfego reais.

7. Modelos de simulação mesoscópicos de tráfego: combinam aspectos dos outros dois modelos de simulação de tráfego. Da microssimulação, a mesma unidade de fluxo de tráfego, o veículo individual, assim como seus comportamentos e relação com as características das rodovias. Da macrossimulação, a abordagem dos movimentos, que se dá por grupos de veículos, regida pela média da velocidade no trecho da rodovia. Os modelos mesoscópicos são menos detalhados que os microscópicos, mas são superiores às técnicas típicas de análise de planejamento.

A escolha da ferramenta mais adequada dá-se em função do projeto e do tipo de estudo a ser realizado, juntamente com sete critérios para ajudar nessa escolha. São eles:

1. capacidade de analisar o escopo geográfico ou área de estudo para a análise, incluindo interseções isoladas, rodovias, corredores ou redes viárias de tráfego;
2. capacidade de modelar diferentes tipos de instalações, como vias expressas, vias para veículos com alta ocupação, rampas, vias arteriais, praças de pedágio, etc;
3. capacidade de analisar distintos modos de viagem, como veículos de ocupados apenas pelo motorista, veículos com alta ocupação, ônibus, trens, caminhões, bicicletas e pedestres;
4. capacidade de analisar distintas estratégias de gerenciamento de tráfego e aplicações, como rampas de acesso controladas (*ramp metering*), coordenação semafórica, gerenciamento de incidentes;
5. capacidade de estimar as respostas dos viajantes às estratégias de gerenciamento de tráfego, incluindo desvio de rota, escolha do horário de partida, mudança de modo, escolha de destino e demandas induzidas / forçadas;
6. capacidade de produzir e divulgar medidas de desempenho, como índices de segurança (acidentes, mortes), eficiência (volumes, distâncias percorridas pelos veículos), mobilidade (tempo de viagem, velocidade, horas de viagem por veículo), produtividade (economia de custo) e medidas ambientais (emissões de poluentes, consumo de combustível, geração de ruído);
7. custo-benefício da ferramenta, de acordo com a tarefa realizada. Incluem nesses custos o capital gasto para a aquisição da ferramenta, o nível de esforço necessário para aprendizado e seu uso, , requisitos de hardware necessários, requisitos de dados para seu total funcionamento, entre outros;

Com os critérios definidos, FHWA (2004b) nos dá três passos para a escolha adequada da ferramenta.

1. os usuários devem começar identificando o contexto analítico do projeto;
2. em seguida, os usuários devem filtrar pelos critérios de 1 a 6 para limitar à ferramenta apropriada em uma ou duas opções;
3. por fim, o critério de custo-benefício deve ser usado para selecionar a ferramenta final baseado em parâmetros fora do âmbito da análise técnica.

## 2.3 Simulação de tráfego

A simulação de tráfego representa uma modelagem através de *softwares* computacionais, de modo que esse modelo represente a realidade de campo.

Segundo Barceló (2010), para construir-se um modelo de sistema de campo, precisa-se de conhecimentos de como ele funciona, através de premissas que assumem a forma de relações matemáticas e/ou lógicas. Essas premissas constituem uma representação formal, chamada de modelo do sistema, que serve para assistir nas perguntas que queremos responder sobre o sistema. Para relacionar sistema real com modelo matemático, Barceló (2010) diz para estabelecer-se uma relação entre os atributos que caracterizam as entidades que compõem o sistema e as variáveis matemáticas que as representam formalmente. As variáveis podem ser classificadas como variáveis de decisão, representando os aspectos controláveis do problema e variáveis não controladas, conjuntos de parâmetros, coeficientes e constantes que são insumos do sistema que determinam as alternativas viáveis para o problema em si. Isso, para que possa-se ter um modelo matemático, que são de fácil manipulação e permitem mudanças rápidas, simplesmente trocando variáveis e/ou seus valores.

Dos muitos modos que pode-se modelar o sistema, dois dos que utilizam a premissa anterior de relação do real com o matemático, serão contemplados nesse trabalho: os modelos macroscópico e microscópico.

### 2.3.1 Modelos de simulação macroscópicos

Segundo FHWA (2004a), os modelos são baseados em relações determinísticas de volume  $q(x, t)$ , que é o número de veículos que cruzam certa seção em um determinado espaço de tempo, velocidade  $u(x, t)$  e densidade  $k(x, t)$ , que é a distribuição dos veículos em certa seção, do fluxo de tráfego macroscópico. Barceló (2010) diz que o objetivo é descrever a evolução tempo-espaço dessas três variáveis que caracterizam o fluxo, em cada instante de tempo  $t$  e em cada ponto do espaço  $x$ . A simulação ocorre seção por seção, não seguindo veículos individualmente.

A macrossimulação segue os princípios da equação da conservação ou da continuidade.

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial k}{\partial t} = 0 \quad (13)$$

Ela nos diz que a quantidade de veículos em uma seção deve ser constante se não houverem entradas ou saídas nela. Compara-se a equação de continuidade da dinâmica dos fluidos, motivo pela qual também é conhecida como Analogia Hidrodinâmica do Tráfego (SILVA, 2001).

Porém, não é isso que ocorre na realidade. Há veículos entrando e saindo das seções, variando fluxo, densidade e velocidade. Devido a isso, adiciona-se um termo genérico  $g(x, t)$ , que representa essa variação (BARCELÓ, 2010).

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial k}{\partial t} = g(x, t) \quad (14)$$

### 2.3.2 Modelos de simulação microscópicos

Segundo (SILVA, 2001), a análise microscópica foi desenvolvida através dos modelos de perseguição de veículos (*car-following*) de Reuschel e Pipes e de teorias de mudanças de faixas (*lane-changings*) (FHWA, 2004a). Eles representam o comportamento de cada veículo individualmente, sendo necessário a modelagem de todas as ações do condutor e suas interações com o ambiente proposto (BARCELÓ, 2010).

**Perseguição de veículos (*car-following*):** As primeiras ideias de modelos de perseguição de veículos são dos anos 50 e 60 do século passado, desenvolvidos por Reuschel e Pipes, baseado no conceito de *headway* de distância<sup>2</sup> (BARCELÓ, 2010).

Os modelos de *car-following* procuram representar o processo pelo qual condutores determinam sua velocidade e espaçamento, em relação aos veículos à sua frente (CUNTO; LOUREIRO, 2011) na mesma faixa de rolamento. Essa interação entre os dois veículos assume a forma de um mecanismo estímulo-resposta (FHWA, 2004c).

De acordo com FHWA (2004c), os algoritmos de *car-following* simulam o comportamento de perseguição mantendo uma distância mínima segura entre os veículos, assim gerando as suas características estocasticamente, obedecendo parâmetros previamente informados, tais como velocidade e aceleração máxima de determinado veículo.

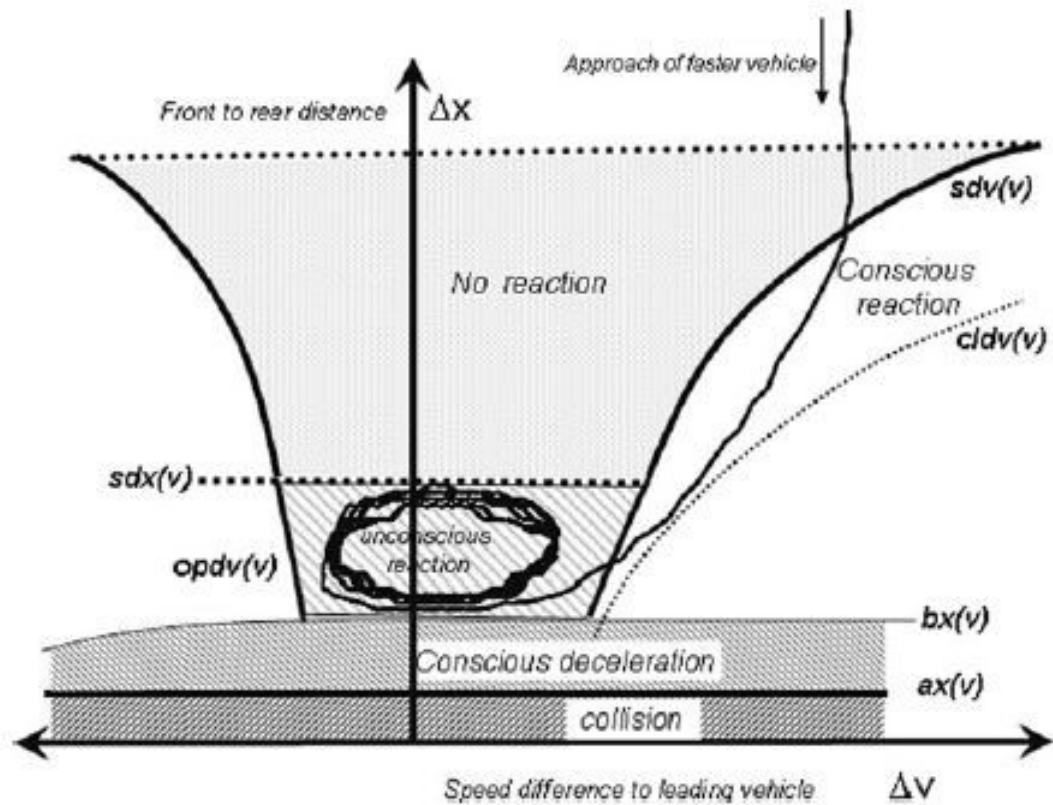
Um dos modelos de perseguição de veículos é o modelo de Wiedemann (1974), um modelo psico-físico. Seu conceito básico é que o motorista de um veículo em movimento mais rápido começa a desacelerar ao atingir seu limiar de percepção individual em relação a um veículo

---

<sup>2</sup>Espaço compreendido entre dois veículos sucessivos em pontos correspondentes, a qualquer tempo (MATHEW; RAO, 2006).

mais lento. Sua velocidade cairá abaixo da velocidade do veículo até que ele comece a acelerar novamente depois de atingir outro limiar de percepção (BARCELÓ, 2010). Há momentos de constante aceleração e desaceleração.

Figura 4: Modelo de *car-following* de Wiedemann<sup>3</sup>



Fonte: BARCELÓ (2010).

A figura 4 representa o comportamento de um veículo segundo o modelo de *car-following* de Wiedemann, sendo o eixo  $x$  a variação da velocidade e o eixo  $y$  a variação do espaço. O veículo mais rápido se aproxima a partir da seta voltada para baixo, na parte superior direita

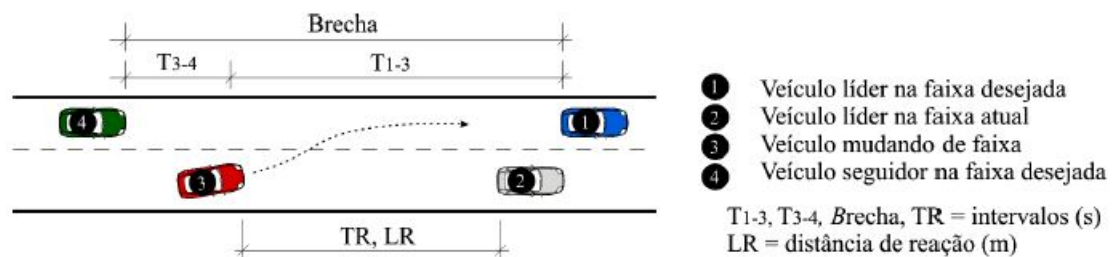
<sup>3</sup>Tradução da Figura 4:

- *Front to rear distance*: distância da dianteira para a traseira;
- *Approach of faster vehicle*: aproximação do veículo mais rápido;
- *No reaction*: sem reação;
- *Conscious reaction*: reação consciente;
- *Unconscious reaction*: reação inconsciente;
- *Conscious deceleration*: desaceleração consciente.
- *collision*: colisão.

do gráfico (*Approach of faster vehicle*), onde primeiramente ele trafega por uma zona de fluxo livre, na velocidade por ele desejada, sem reação provocada por outros veículos. A próxima zona é a de reação consciente, onde ao ver o outro veículo se aproximando, o condutor freia conscientemente para evitar colisões, frenagens bruscas ou de emergência. Continuando, com o veículo já perseguindo outro, acontecem reações inconscientes de frenagem e aceleração, de acordo com sua percepção de aproximação e distanciamento do veículo a sua frente. Essas 3 zonas são as que descrevem o comportamento geral do veículo mais veloz. Abaixo da zona de reações inconscientes aparece a zona de desaceleração consciente, ou de frenagem de emergência, para evitar a colisão, e por último a colisão.

**Teoria de mudanças de faixas (*lane-changings*):** Um dos modelos é baseado em aceitação de brechas (*gap-acceptance*) (FHWA, 2004c). O veículo pode querer mudar de faixa devido a obstruções ou veículos lentos na faixa em que está trafegando ou pela necessidade de acessar algum ponto da malha (CUNTO; LOUREIRO, 2011). Se a brecha for maior que a brecha crítica, acontece a mudança de faixa (FHWA, 2004c).

Figura 5: Parâmetros para mudança de faixa



Fonte: CUNTO; LOUREIRO (2011).

## 2.4 Análise de conflitos de tráfego

Os acidentes de trânsito constituem-se num grave problema social de desperdício de recursos materiais e, sobretudo, humanos. No Brasil 25 mil pessoas perdem a vida por ano, para um custo estimado de 1,0% do PIB Nacional<sup>4</sup>

Devido a esses fatores, o estudo dos acidentes de trânsito e a redução dos seus danos aos indivíduos têm sido uma preocupação cada vez maior, porém há diversas dificuldades metodológicas dado que os acidentes de tráfego são eventos imprevisíveis. Além disso, a estas características

<sup>4</sup>Serviços de consultoria para assessoria técnica na área de custos de acidentes - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - Disponível em: <[http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/custos\\_de\\_acidentes\\_relatorio\\_final.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/custos_de_acidentes_relatorio_final.pdf)>. Acesso em: 20 nov. 2018

deve-se acrescentar a existência de uma grande variação espacial e temporal que dificultam seu acompanhamento e tratamento. Estas são as razões gerais da segurança no tráfego que tornam importantes empregar técnicas de análise de segurança (PIETRANTONIO, 1991).

#### 2.4.1 *Surrogate Safety Assessment Model - SSAM*

O SSAM (em português, Modelo Substituto de Avaliação de Segurança<sup>5</sup>) é um *software* que combina microssimulação e análise automatizada de acidentes viários. Criado pela *Federal Highway Administration* (FHWA), ele analisa a frequência e o caráter de possíveis colisões entre veículos na malha simulada, para avaliação da segurança das vias e do tráfego.<sup>6</sup>

Para a análise dos conflitos no SSAM, o *software* mapeia todos os possíveis acidentes, catalogando-os de acordo com sua natureza e criando um mapa para a observação, de acordo com a angulação aproximada da colisão hipotética entre os veículos conflitantes.

O ângulo, expresso na perspectiva do primeiro veículo a chegar ao ponto de conflito, transmite a direção a partir da qual o segundo veículo se aproxima do primeiro veículo. O ângulo varia de  $-180^\circ$  a  $+180^\circ$ , onde um ângulo negativo indica aproximação da esquerda e um ângulo positivo indica aproximação da direita. Um ângulo de  $180^\circ$  (ou  $-180^\circ$ ) indica uma aproximação direta e um ângulo de  $0^\circ$  (ou  $-0^\circ$ ) indica uma aproximação traseira direta (Figura 6).

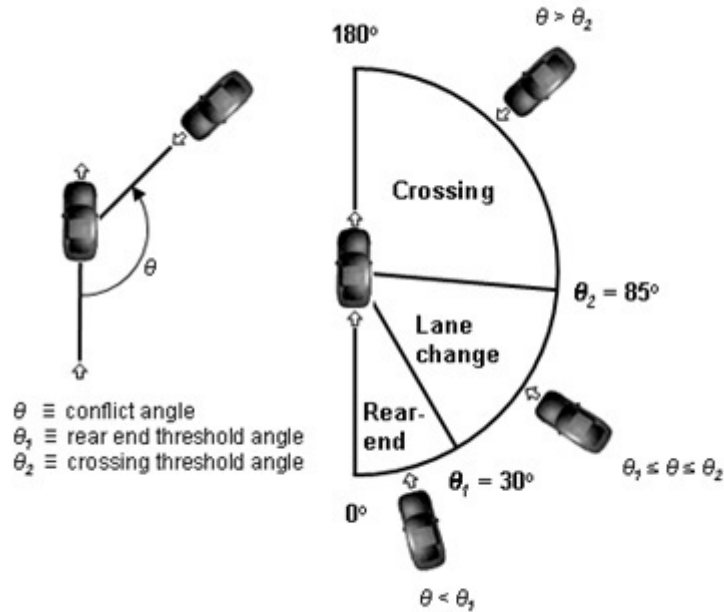
---

<sup>5</sup>Um modelo substituto é um método de engenharia utilizado quando um resultado de interesse não pode ser facilmente medido diretamente, portanto, um modelo do resultado é usado. Quando construídos adequadamente, esses modelos de aproximação imitam o comportamento da simulação com precisão, enquanto são computacionalmente mais baratos de avaliar (GORISSEN et al., 2010).

<sup>6</sup>Disponível no site da FHWA: <<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/08049/>>. Acesso em: 11 nov. 2018



Figura 6: Tipos de colisões e suas angulações<sup>7</sup>



Fonte: SSAM (PU et al., 2008).

As colisões podem ser de três tipos:

1. Colisão devido a uma travessia (*Crossing*);
2. Colisão na parte traseira (*Rear end*);
3. Colisão devido a mudança de faixa (*lane change*).

## 2.5 Elementos básicos para modelagem de infraestrutura e demanda

Os elementos para as modelagens são o que fazem a simulação proposta pelo trabalho funcionar. Com eles constrói-se a malha viária e insere-se os dados necessários para a sua operação, visando os resultados após a execução do modelo de simulação.

<sup>7</sup>Tradução da Figura 6:

- *conflict angle*: ângulo de conflito;
- *rear end threshold angle*: ângulo de limiar por colisão traseira;
- *crossing threshold angle*: ângulo de limiar por colisão do tipo travessia.

### 2.5.1 *Cordon line*

Delimita-se a área de estudo com o chamado *cordon line* (CAMPOS, 2013). Com isso, limita-se o número de rodovias e zonas para as pesquisas de levantamento de tráfego (MEYER, 2016). Segundo Campos (2013), o *cordon line* deve englobar os movimentos casa-trabalho nos meios urbanos, bem como cruzar as principais vias e corredores da área.

### 2.5.2 Zonas de tráfego

São as divisões da área de estudo. Os locais onde as viagens iniciam e terminam na simulação de tráfego, com a finalidade de estabelecer a quantidade de fluxo gerado por seus movimentos (CAMPOS, 2013).

De acordo com SARAIVA (2000 apud LEITE, 2003), os componentes das zonas devem apresentar características homogêneas quanto ao uso e ocupação de solo e/ou podem ser determinadas por separação geográfica, como um conjunto de bairros que situam-se próximos e utilizam as mesmas vias para a mobilidade de sua população.

### 2.5.3 Centróides

Um centróide, na geometria, é o centro geométrico de uma determinada forma. Se o corpo tiver densidade uniforme, é o local onde também se coincide o centro de massa, o centro de gravidade, se existentes.

No caso, o centróide é a representação de um local de concentração de população e renda dos bairros e zonas (CAMPOS, 2013), tratados como formas geométricas. Os centróides representam os pontos onde as viagens são iniciadas e/ou finalizadas (LEITE, 2003).

### 2.5.4 Matriz Origem-Destino (O/D)

Pesquisas, levantamentos e estudos de viagens origem-destino são utilizados para a obtenção de informações acerca dos movimentos da população em uma determinada área de estudo, sendo fundamental para o planejamento de transportes e suas estimativas (LEITE, 2003).

Através dessas pesquisas, são obtidas as Matrizes Origem-Destino (O/D), podendo ser desagregadas por tipo de pessoas e suas finalidades, motivo da viagem, modo, entre outros (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2001).

As células de uma matriz O/D indicam o número de viagens entre cada par origem-destino, e existem entre todas as zonas de tráfego. A última célula das linhas e colunas indica os totais de viagens originadas e atraídas por zona, respectivamente (O'FLAHERTY; BELL, 1997). Essas viagens são estimadas e classificadas de acordo com um único propósito, com um mesmo

modo, e para um mesmo período de tempo (LEITE, 2003). A matriz fornece um quadro da demanda de viagens em uma área de estudo (O'FLAHERTY; BELL, 1997).

Tabela 2: Forma genérica de uma matriz Origem/Destino bidimensional

Origens	Destinos					$\sum_i T_{ij}$
	1	2	3	...j	...z	
1	$T_{11}$	$T_{12}$	$T_{13}$	$...T_{1j}$	$...T_{1z}$	$O_1$
2	$T_{21}$	$T_{22}$	$T_{23}$	$...T_{2j}$	$...T_{2z}$	$O_2$
3	$T_{31}$	$T_{32}$	$T_{33}$	$...T_{3j}$	$...T_{3z}$	$O_3$
$\vdots$						
$I$	$T_{i1}$	$T_{i2}$	$T_{i3}$	$...T_{ij}$	$...T_{iz}$	$O_i$
$\vdots$						
$Z$	$T_{z1}$	$T_{z2}$	$T_{z3}$	$...T_{zj}$	$...T_{zz}$	$O_z$
$\sum_i T_{ij}$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$...D_j$	$...D_z$	$\sum_{ij} T_{ij} = T$

Fonte: adaptado de Ortuzar e Willumsen (2001).

### 2.5.5 Representação da malha viária

**Nós:** Os nós determinam a localização de interseções, mas também podem ser simplesmente pontos de passagem de fluxo de tráfego entre vias, respeitando a conservação de fluxo, que diz que o fluxo que entra deve ser igual ao que sai do nó (BELL; IIDA, 1997 apud LEITE, 2003).

**Links:** *Links*, nas malhas viárias, são as estradas da rede de transporte. São elementos direcionados, descritos pelos seus nós de origem e destino (PTV, 2018b), concentrando o fluxo entre eles (LEITE, 2003).

**Conectores:** Os conectores ligam as zonas de tráfego aos *links*, para que os veículos sejam carregados na malha viária.

Eles possuem duas direções, entrada ou saída da rede viária, sendo a primeira parte da mudança de localização ou a última, respectivamente (PTV, 2018b).

**OpenStreetMap** O *OpenStreetMap* é um projeto colaborativo para criar e prover dados geográficos, de maneira livre, onde todos podem editar ruas, pontos de interesses, informações sobre semáforos, entre outros<sup>8</sup>. Os dados são operados e administrados pela Fundação *OpenStreetMap*, sem fins lucrativos e em nome da comunidade de mapeadores, sob a licença *Open*

<sup>8</sup>Disponível no *site* do *OpenStreetMap*: <<https://www.openstreetmap.org/about>>. Acesso em 29 out. 2018

*Data Commons Open Database License*<sup>9</sup>, que permite o direito de copiar, compartilhar, adaptar e utilizar o banco de dados de forma livre, desde que essa mesma liberdade seja mantida para os outros e que a autoria seja atribuída ao *OpenStreetMap* e seus colaboradores<sup>10</sup>. Se os dados forem alterados ou mesmo adicionados conteúdos ao banco, a distribuição do resultado pode ser feita apenas com a mesma licença, evitando assim comercialização.

As fontes para a produção dos mapas são variadas. Além da comunidade, que fora quem começou o projeto, agências governamentais e fontes comerciais têm doado informações. Aqui no Brasil, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), proveram dados no âmbito nacional<sup>11</sup>. Todas as imagens dos mapas e a documentação do *OpenStreetMap* são disponibilizadas sob a licença *Creative Commons Atribuição - Partilha nos Mesmos Termos 2.0*, que dita as mesmas regras da licença de dados abertos<sup>12</sup>.

### 2.5.6 Sistema de Informações Geográficas

Sistema de Informação Geográfica (SIG), é um sistema computacional de gerenciamento de banco de dados que permite a captura, análise, armazenamento, recuperação e visualização dos dados espaciais (LEWIS, 1990).

Com ele pode-se trabalhar os dados geoespaciais em camadas, integrando grandes conjuntos de dados independentes um do outro, gerando saídas gráficas e relacionando dados estatísticos na geometria proposta, criando novas camadas (HSIAO et al., 1997 apud ROSE, 2001). Essa é a diferença fundamental entre SIG e Desenho Assistido por Computador (CAD), o armazenamento das inter-relações entre os elementos por parte do SIG (LEWIS, 1990 apud ROSE, 2001).

Devido toda essa potencialidade, o SIG transformou-se em um importante elemento para o gerenciamento dos sistemas de planejamentos de transportes (SANTOS; FERREIRA, 2004).

---

<sup>9</sup>Disponível no *site* do *OpenStreetMap*: <<https://www.openstreetmap.org/copyright>>. Acesso em 29 out. 2018

<sup>10</sup>Disponível no *site* do *Open Data Commons*: <<https://opendatacommons.org/licenses/odbl/summary/>>. Acesso em 29 out. 2018

<sup>11</sup>Disponível na documentação do *OpenStreetMap*: <<https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Contributors>>. Acesso em 29 out. 2018

<sup>12</sup>Disponível no *site* da *Creative Commons*: <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/deed.pt>>. Acesso em 29 out. 2018

**Qgis** O *Qgis* é um *software* livre com código-fonte aberto que permite a manipulação de dados do SIG<sup>13</sup>. Foi criado pela *Open Source Geospatial Foundation*(OSGeo)<sup>14</sup>, organização sem fins lucrativos e licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU (GPL)<sup>15</sup>, que baseia-se na liberdade do usuário de executar o programa para qualquer propósito, na liberdade de estudá-lo e adaptá-lo às suas necessidades e na liberdade de redistribuir cópias para outros usuários, sejam aperfeiçoadas ou não, beneficiando a todos.

**Shapefile** O *Shapefile* é o formato mais popular de arquivo contendo dados geoespaciais usados pelo SIG, criado pela *Environmental Systems Research Institute* (ESRI).

Nele são armazenados posição geométrica e informações de características geográficas<sup>16</sup>, que podem ser representadas por pontos, linhas ou polígonos<sup>17</sup>, ou seja, por dados vetoriais definidos por pares de coordenadas (LINO; FERREIRA, 201-?.). Além disso, também pode conter tabelas, que podem armazenar atributos adicionais (ESRI, 1998).

---

<sup>13</sup>Disponível no *site* do *Qgis*: <[https://www.qgis.org/pt\\_BR/site/about/index.html](https://www.qgis.org/pt_BR/site/about/index.html)>. Acesso em: 29 out. 2018

<sup>14</sup>Disponível no *site* do *OSGeo*: <<https://www.osgeo.org/about/>>. Acesso em: 29 out. 2018

<sup>15</sup>Disponível no *site* do GNU: <<https://www.gnu.org/licenses/gpl.html>>. Acesso em: 29 out. 2018

<sup>16</sup>Disponível no *site* da ESRI: <<https://doc.arcgis.com/pt-br/arcgis-online/reference/shapefiles.htm>>. Acesso em: 29 out. 2018

<sup>17</sup>Disponível no *site* da ESRI: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/shapefiles/what-is-a-shapefile.htm>>. Acesso em: 29 out. 2018

### 3 Área de estudo

A área de estudo delimitada pelo *cordon line* abrange a Ilha de Santa Catarina, parte do município de Florianópolis, situado na região sul do Brasil.

Do urbanismo, Florianópolis encaixa-se no conceito de cidade orgânica, segundo MEDEIROS (2006):

[...] são aquelas cujas formas-espacos diacronicamente consolidadas caracterizam-se pela irregularidade, diversidade, sinuosidade e profusão de elementos componentes. O jogo de permeabilidades (ruas e espaços abertos) e barreiras (blocos, lotes e edificações) associado, em grande medida, às características geográficas do lugar, produz uma cidade dinâmica quanto à geometria, de significativo apelo cênico e que dificilmente pode ser apreendida de imediato. (p.183)

Figura 7: Ilha de Santa Catarina



Fonte: VerdeJava<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup>Disponível em: <<http://verdejava.com.br/lugares/florianopolis/>>. Acesso em: 24 out.2018

As cidades orgânicas têm sua evolução diretamente ligada às características geográficas do terreno onde foram alocadas (MEDEIROS, 2006 apud SPIRO, 2001, p.62). Como Florianópolis é repleta de morros, lagoas, praias e dunas, sua composição citadina é descontínua, com manchas urbanas espalhadas pela ilha (Figura 8)(MEDEIROS, 2006, p.190).

Figura 8: Representação linear da cidade de Florianópolis

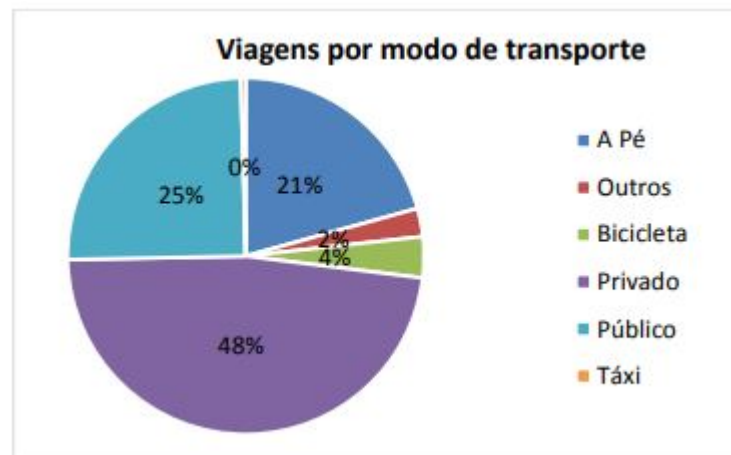


Fonte: MEDEIROS (2006)

A metropolização de Florianópolis seguiu o modelo centro/periferia, na ocupação territorial e nas locações de serviços públicos e privados, que também são geradores de empregos. Além disso, por ser a capital do Estado de Santa Catarina, o município abriga diversos órgãos estaduais, federais e universidades na área central. Por consequência, a periferia tem uma forte relação de dependência com as regiões consideradas centrais, seja por motivo de trabalho, estudo ou busca de serviços exclusivos, o que ocasiona grande fluxo de deslocamento entre habitação e centro, gerando congestionamentos urbanos (Governo de Santa Catarina, 2014a).

Outro motivo que ocasiona congestionamentos é a escolha do transporte. Segundo Governo de Santa Catarina (2014b) 48% da população utiliza o automóvel, transporte individual privado, como o seu principal modo de deslocamento dentro da cidade, quase o dobro dos 25% que utilizam o transporte público (Figura 9).

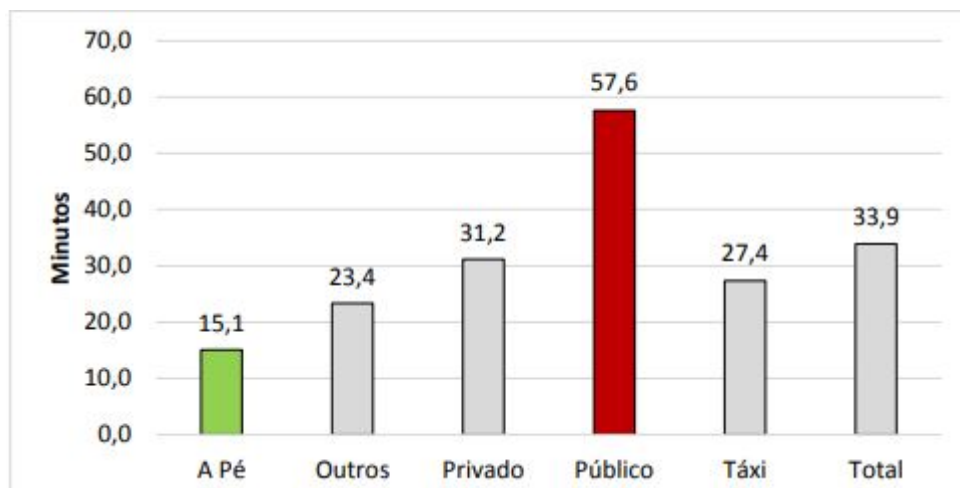
Figura 9: Divisão modal para o município de Florianópolis



Fonte: Governo de Santa Catarina (2014b)

Um dos motivos é a média de tempo de viagem, sendo de 31,2 minutos com o automóvel individual privado e de 57,6 minutos com o transporte público (Governo de Santa Catarina, 2014b). Isso mostra um estímulo ao uso do veículo individual, sendo uma consequência da falta de políticas de incentivo ao coletivo (MORAIS; COSTA et al., 2010).

Figura 10: Média de tempos de viagem por modo de transporte para o município de Florianópolis



Fonte: Governo de Santa Catarina (2014b)

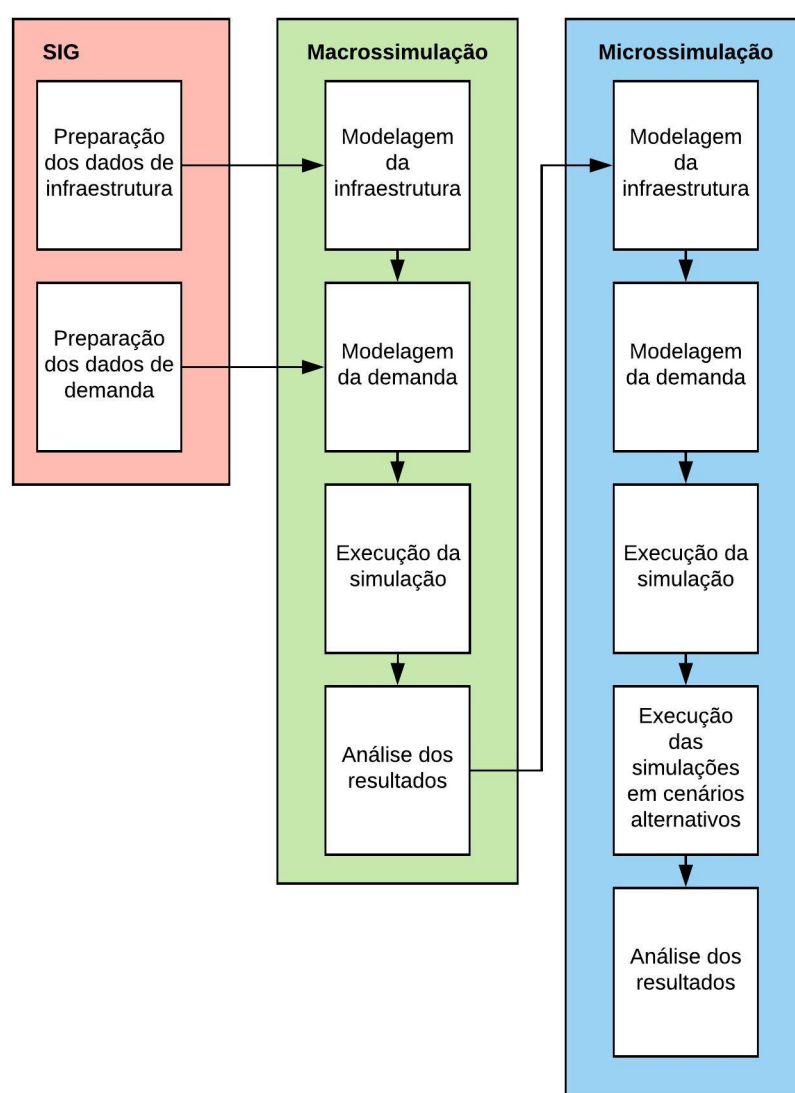


## 4 Método e aplicação na área de estudo

O trabalho consiste em uma macrossimulação seguida de uma microsimulação de tráfego viário, ambas na ilha de Florianópolis, através dos *softwares* Vissum e Vissim, nas suas versões de estudante, da PTV.

A Figura 11 mostra a estrutura do trabalho.

Figura 11: Fluxograma representando a estrutura do trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor

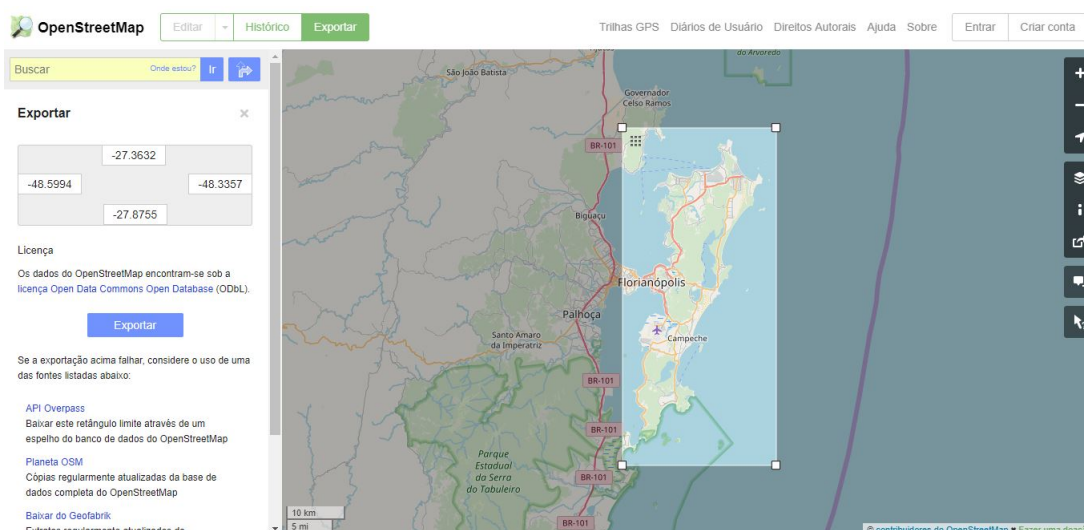
## 4.1 Elaboração do modelo macroscópico

Para o funcionamento do modelo macroscópico é necessária a criação de sua infraestrutura viária e da demanda de dados. Com isso, pode-se chegar em resultados para análises e utilização na construção do modelo microscópico.

### 4.1.1 Modelagem da infraestrutura viária

**Aquisição de dados:** Primeiramente deve-se fazer a construção da malha viária no ambiente do *software*. Para isso, foram importados os dados disponíveis no *www.openstreetmap.org*, já que o Visum é compatível com o formato de arquivo disponível para *download* dos mapas no *site*, o “.osm”.

Figura 12: Exportação da malha viária via *OpenStreetMap*



Fonte: *OpenStreetMap*<sup>19</sup>

Devido as limitações impostas pela PTV aos *softwares* para estudantes, não fora possível utilizar a malha inteira, sendo necessário filtrar as vias urbanas nas com maior fluxo de veículos, sendo classificadas como<sup>20</sup>: vias expressas urbanas, caracterizadas por serem de mão dupla (com divisão física entre faixas opostas), com duas ou mais faixas em cada sentido, com cruzamentos ou obstruções (semáforos , lombadas, etc), acessado diretamente pelo tráfego local através de ruas perpendiculares, que podem atravessar diretamente a rodovia; vias arteriais urbanas, via de mão única ou dupla, conectando bairros, formando a principal rede de circulação nas

<sup>19</sup>Disponível no *site* do *OpenStreetMap* em: <[www.openstreetmap.com](http://www.openstreetmap.com)>. Acesso em: 24 out.2018

<sup>20</sup>Disponível em: <[https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Highway:International\\_equivalence](https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Highway:International_equivalence)>. Acesso em: 19 nov.2018

grandes cidades; e vias coletoras, geralmente com faixa de rolamento única, formando a rede de circulação secundária entre bairros nas grandes cidades. Fez-se a filtragem através do *software osmfilter*, uma ferramenta de linha de comando usada para filtrar dados de arquivos do *OpenStreetMap* (.osm) <sup>21</sup>. Com o arquivo “.osm” na mesma pasta do *osmfilter*, utilizou-se o seguinte comando:

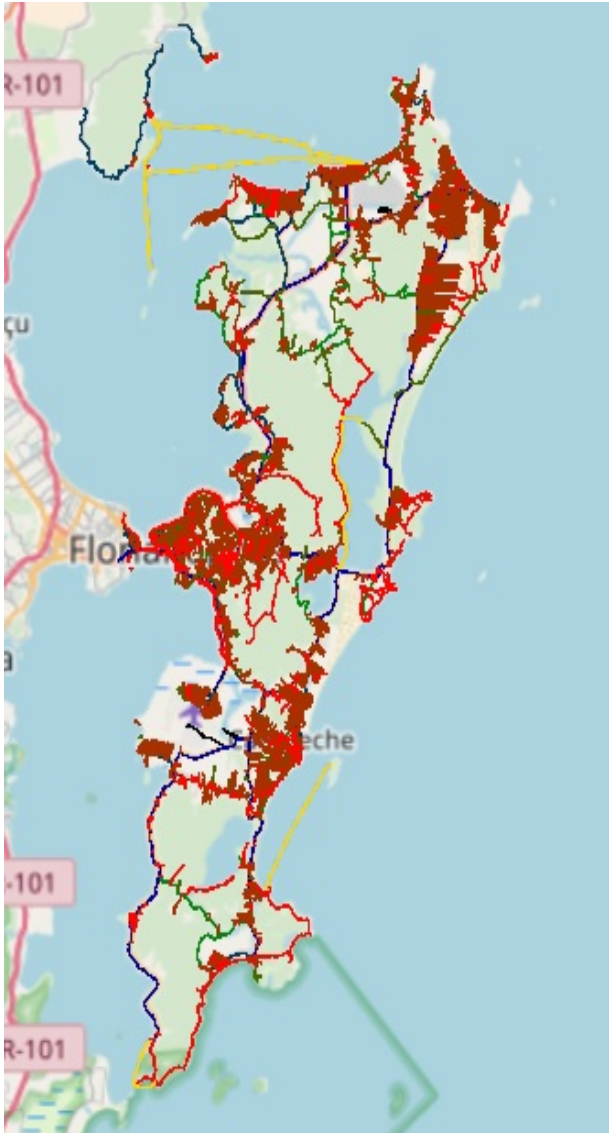
```
osmfilter.exe "nome do arquivo".osm --keep="highway=primary  
=primary_link =secondary =secondary_link =trunk" > "nome do arquivo de destino".osm
```

O arquivo fora reduzido para apenas as vias citadas, conforme a figura 13.

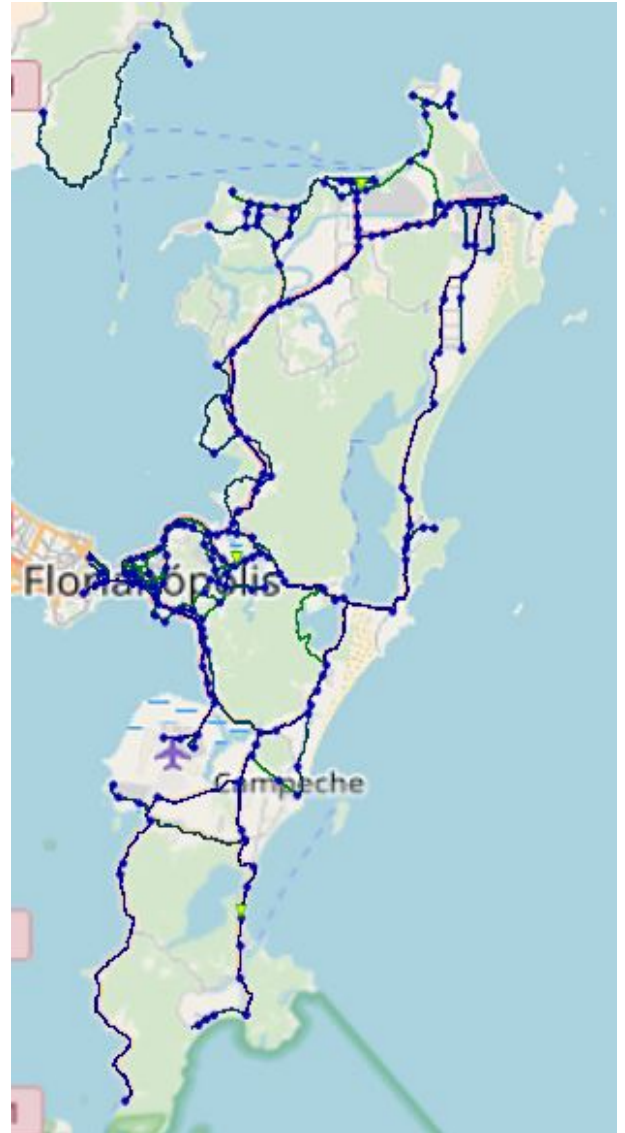
---

<sup>21</sup>Disponível na documentação do *OpenStreetMap*: <[https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Osmfilter#Program\\_Description](https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Osmfilter#Program_Description)>. Acesso em: 30 out. 2018

Figura 13: Malha viária completa e pós filtragem das vias



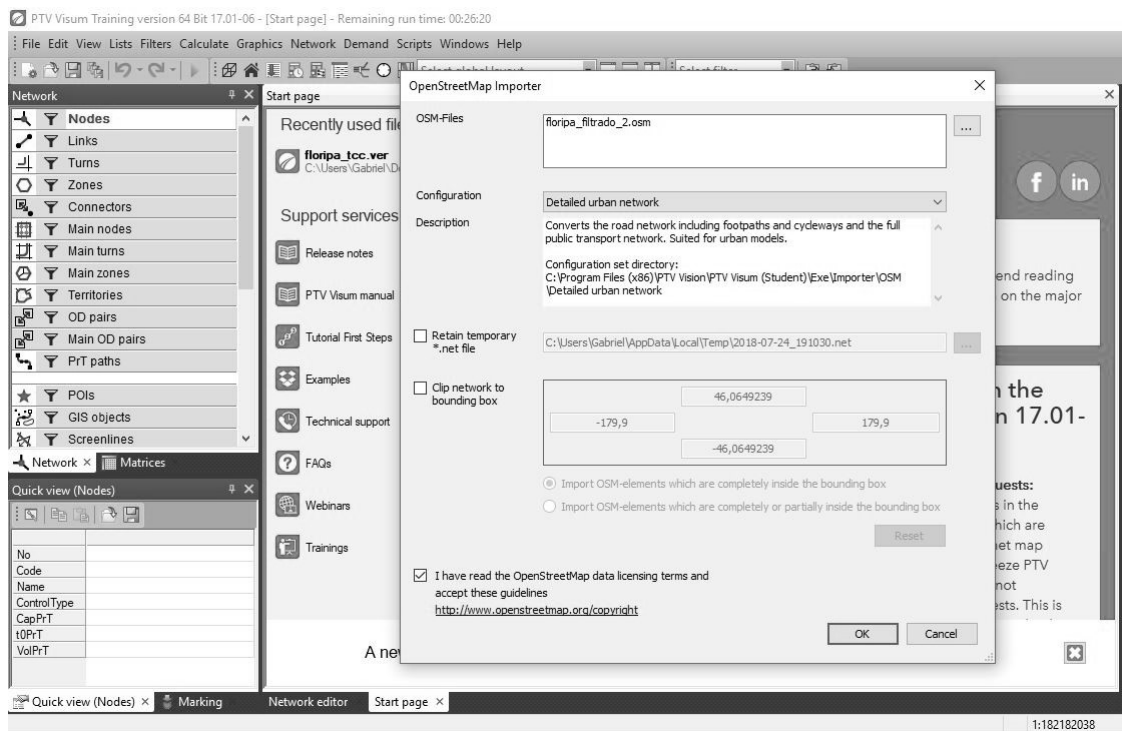
(a) Fonte: *OpenStreetMap* (2018)



(b) Fonte: Adaptado de *OpenStreetMap* (2018)

**Criação da malha no *software VISUM*** Importando-o para o Visum (Figura 14), ainda assim as restrições da versão estudante não foram atingidas, com um total de 1097 nós e 2758 *links*. A região continental foi apagada, pois ela não faz parte da ideia inicial do trabalho, além de algumas vias coletoras com menos fluxo de veículos, pois estão inseridas em bairros com menos habitantes da Ilha de Santa Catarina, de acordo com o Censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2010, resultando na malha da Figura 15.

Figura 14: Importação do OSM para o Visum



Fonte: Adaptado de *Visum* (2018)

Após essa etapa foram verificadas as principais vias para correção dos seguintes erros na malha viária: velocidades de algumas vias não condizentes com as apresentadas na cidade de Florianópolis; movimentos inexistentes em cruzamentos; vias com sentido do fluxo incorreto; faixas faltantes ou excedentes em vias; falta de semáforos em cruzamentos. Os erros foram corrigidos para que a malha viária correspondesse à realidade, usando o conhecimento da cidade de Florianópolis do autor, juntamente com o auxílio do *Google Street View*, ferramenta que explora as ruas da cidade através de imagens do banco de dados do *Google*.

Figura 15: Malha viária utilizada na Macrossimulação de tráfego



Fonte: Adaptado de *OpenStreetMap* (2018)

#### 4.1.2 Modelagem da demanda

**Aquisição de dados:** O próximo passo do trabalho foi a criação das zonas de tráfego, de onde as viagens são geradas e atraídas. Correspondem as linhas e colunas das matrizes Origem/Destino. Para a criação é utilizado o *software Qgis*. No trabalho foram utilizados os dados de setores censitários do Censo de 2010 realizado pelo IBGE, sendo que o mapa geográfico, juntamente com a tabela de atributos de cada feição, são fornecidos no formato *shapefile*.

Além disso, para a criação da demanda fictícia utilizada na simulação, utilizou-se um script, descrito no Anexo A, que necessita de duas colunas de dados alfanuméricos: população e renda total de cada setor, fornecidas pelo IBGE no formato *Comma-separated values* (CSV).

Nos arquivos, tanto o *shapefile* quanto o arquivo “CSV”, constam todos os setores censitários de Santa Catarina, sendo necessário filtrá-los para a área de interesse, a Ilha de Santa Catarina.

**Preparação dos dados alfanuméricos:** Do *site* do IBGE<sup>22</sup>, dois arquivos são necessários para trabalhar com os dados alfanuméricos: o que contém as planilhas com os dados<sup>23</sup>, com 18 CSV's, e o que contém a documentação que explica o significado delas<sup>24</sup>.

O arquivo “Basico\_SC”, de acordo com IBGE (2011, p. 34) “[...]contém os códigos e nomes das subdivisões geográficas e a informação básica do cadastro de áreas (totais, médias e variâncias)[...]”. Dele, na coluna V002 do arquivo CSV, coleta-se a informação de “Moradores em domicílios particulares permanentes ou população residente em domicílios particulares permanentes” (IBGE, 2011, p. 44), excluindo algumas linhas em que não constam esses dados.

Do arquivo “DomicilioRenda\_SC”, que segundo o IBGE (2011, p.35) “[...] fornece informação sobre os rendimentos dos domicílios [...]”, retira-se os dados de “Total do rendimento nominal mensal dos domicílios particulares”, da coluna V002 (IBGE, 2011, p.153) e também fazendo o processo de filtragem, excluindo linhas onde não constam os dados.

**Filtragem dos dados vetoriais:** O *Qgis* conta com a ferramenta “Filtrar” para a redução de arquivos *shapefile* (Figura 16). Segundo Silva, Monteiro e Pamboukian (2015)

Como cada feição geométrica em uma camada vetorial possui uma linha relacionada na tabela de atributos, torna-se possível realizar consultas de atributos específicos através da interface gráfica do software. As consultas podem ser feitas através de expressões lógicas que utilizam, além dos valores dos atributos, operadores aritméticos, relacionais e lógicos (p.5)

Assim, é possível fornecer uma expressão de filtragem para que o arquivo se reduza para as feições do município de Florianópolis.

Em “Campos”, como mostrado na Figura 16, aparecem todos os atributos que podem ser utilizados para a filtragem. A classe de atributo escolhida foi o nome do município, representado como “NM\_MUNICIP”, com o comando:

```
"NM\MUNICIP" = 'FLORIANÓPOLIS'
```

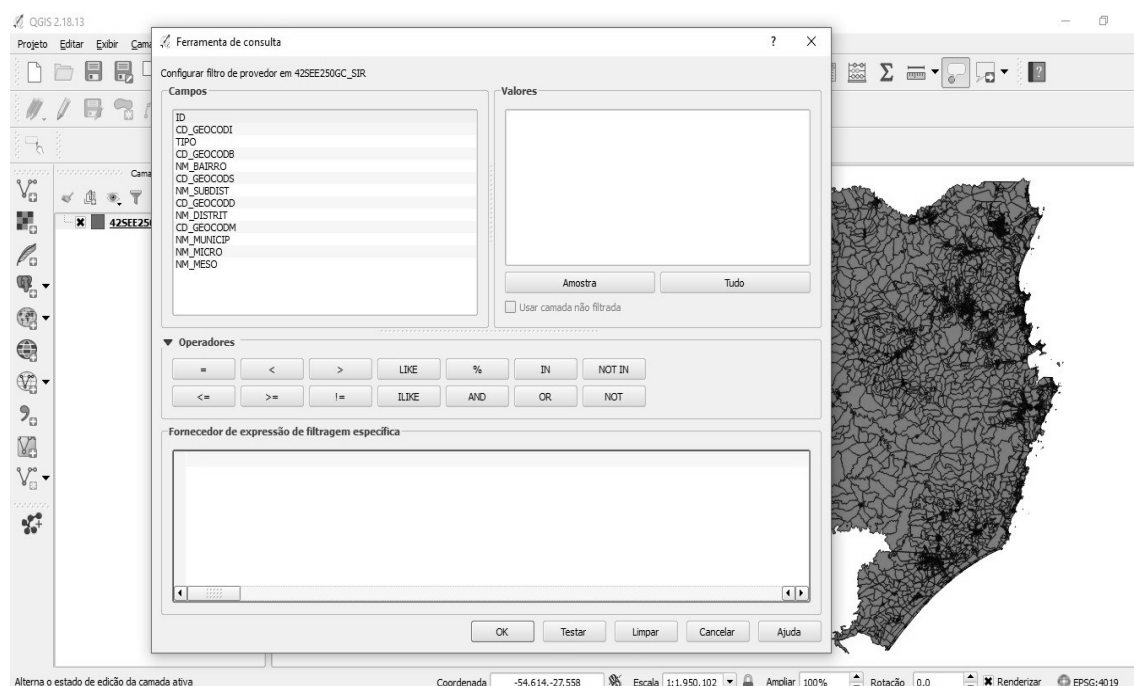
---

<sup>22</sup>Disponível no site:<ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo\_Demografico\_2010/Resultados\_do\_Universo/Agregados\_por\_Setores\_Censitarios/>. Acesso em: 30 out. 2018

<sup>23</sup>Arquivo de nome: SC\_20171016.zip

<sup>24</sup>Arquivo de nome: Documentacao\_Agregado\_dos\_Setores\_20180416.zip

Figura 16: Ferramenta para filtragem no Qgis



Fonte: Adaptado de *Qgis* (2018)

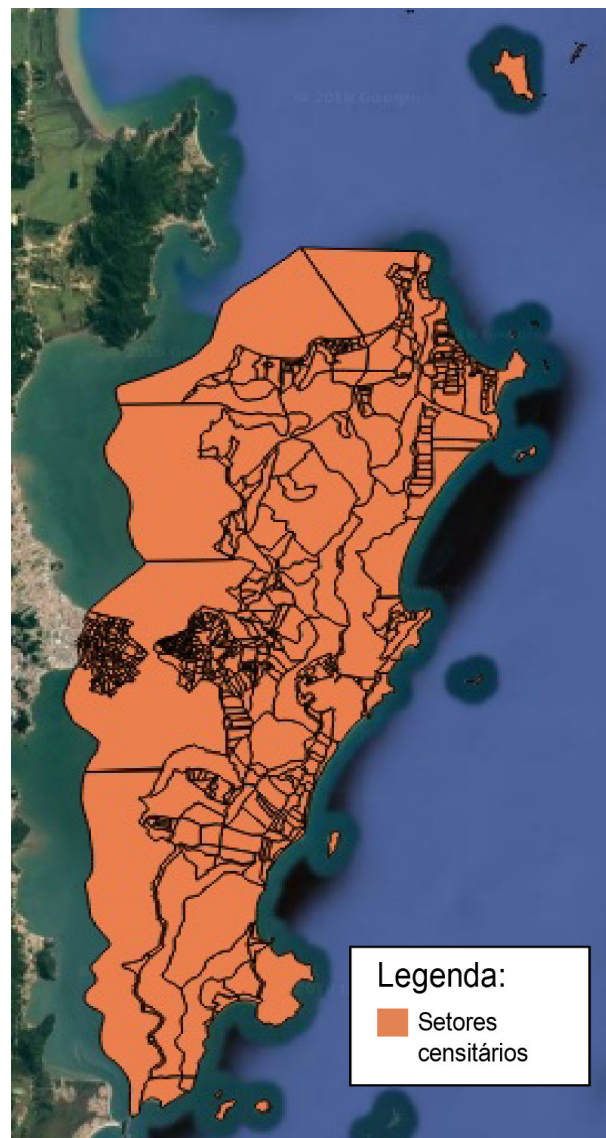
Com isso, o *shapefile* foi filtrado como mostra a Figura 17.

**Fusão dos setores censitários:** O IBGE divide a grande Florianópolis em 1508 setores censitários. Porém, devido a não familiarização do autor com os códigos e localização dos setores, resolveu-se criar as zonas de tráfego através dos bairros do município, sendo mais simples a interpretação e localização geográfica. Para isso é necessário fazer uma fusão dos vários setores que podem existir no mesmo bairro. Excluiu-se os setores censitários onde o campo “Nome do bairro” está vazio, já que esses setores estão inseridos em regiões rurais, com pouca influência no trânsito florianopolitano. Para que o *shapefile* fique de acordo com a Figura 18, utiliza-se a seguinte expressão:

```
‘‘NM_MUNICIP’’ = ‘FLORIANÓPOLIS’ AND ‘‘NM_BAIRRO’’ IS NOT NULL
```



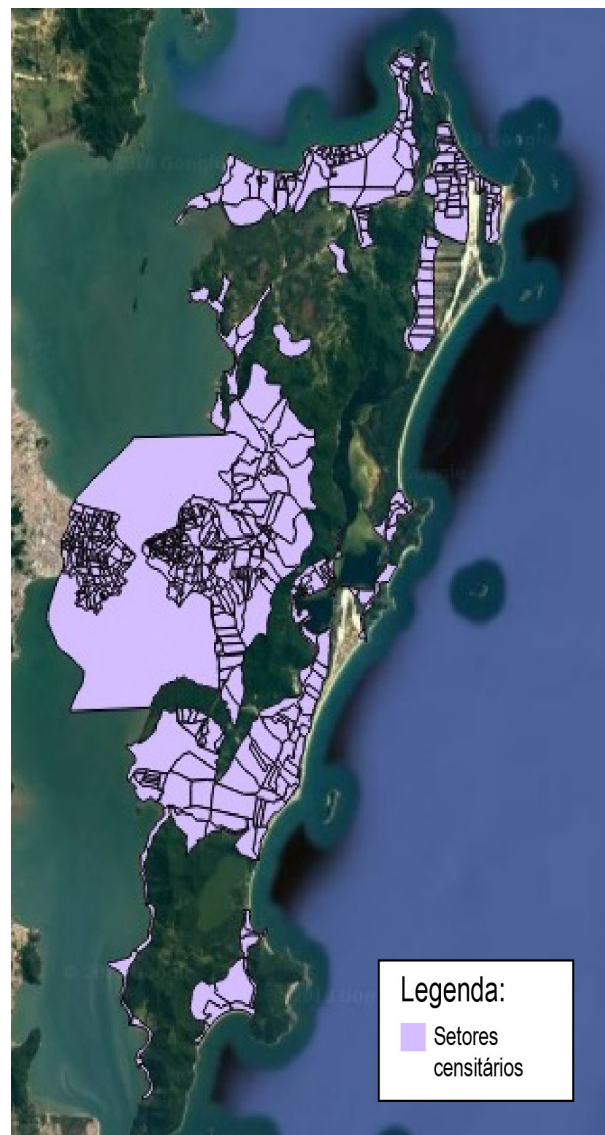
Figura 17: Setores Censitários de Florianópolis



Fonte: IBGE (2010)

Com somente os setores censitários que constam em bairros definidos por lei, são carregadas no *Qgis* as planilhas com os dados alfanuméricos de população e renda total, previamente filtradas. Elas funcionam apenas como uma tabela de atributos, sem geometria, diferentemente dos dados vetoriais, que combinam os dois. Os campos que possuem essas informações das duas tabelas, as colunas V002, serão inseridos na tabela de atributos do *shapefile* dos setores censitários de Florianópolis, utilizando os campos em comum, “Cod\_setor” nas planilhas e “CD\_GEOCODI” no *shapefile*, que são os códigos dos setores censitários, como o parâmetro de união entre eles, como mostra a Figura 19.

Figura 18: Setores Censitários de Florianópolis pós filtragem



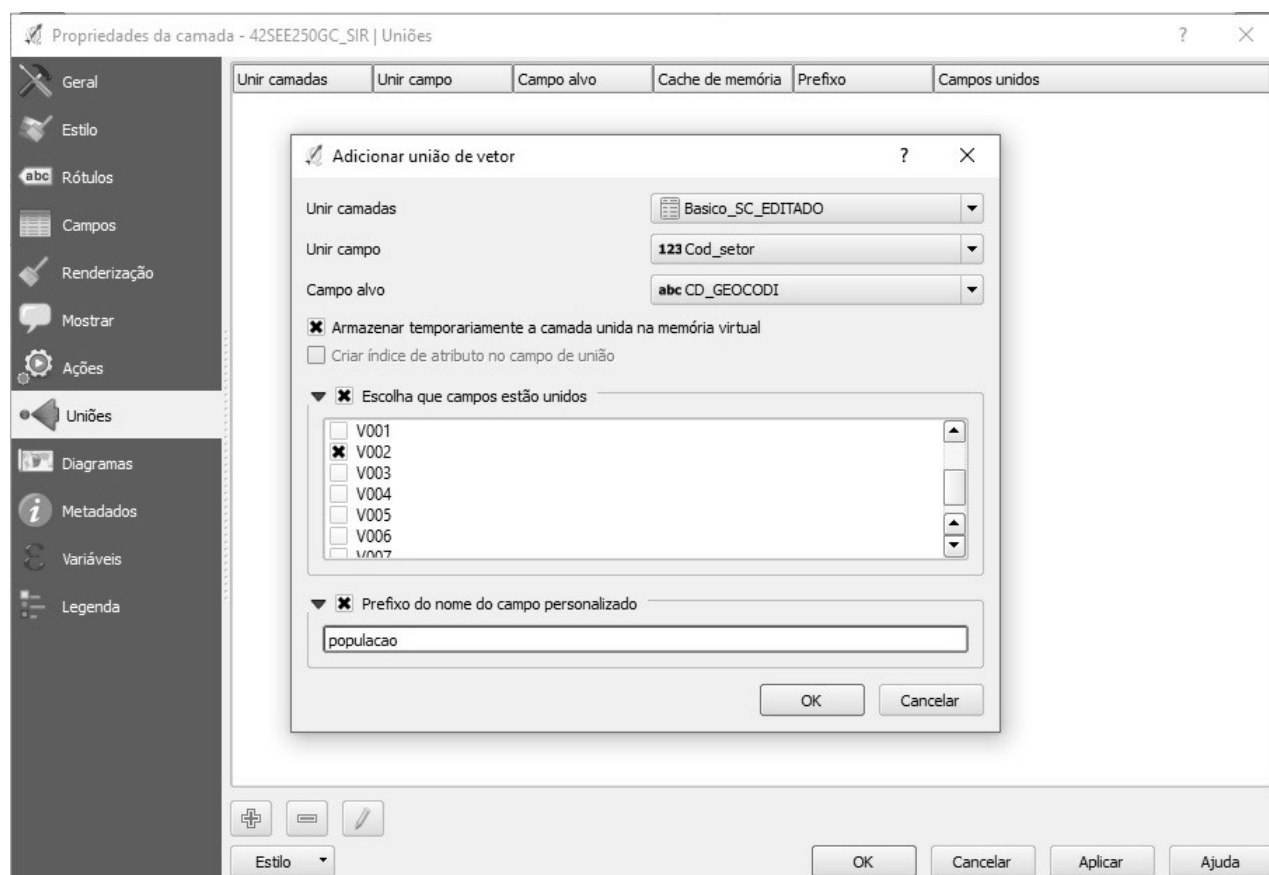
Fonte: adaptado de IBGE (2010)

Mesmo aplicando os filtros anteriores, algumas células dos campos de população e renda ainda apresentavam o valor nulo. Como os dados nulos não existem, ou seja, não há informação sobre eles, podendo prejudicar a fusão dos setores censitários, utiliza-se novamente a ferramenta "Filtrar" para excluí-las da tabela de atributos, com o seguinte comando:

- “populacao” IS NOT NULL AND “renda” IS NOT NULL

Resultando no *shapefile* da Figura 20.

Figura 19: União dos dados de população ao *Shapefile*



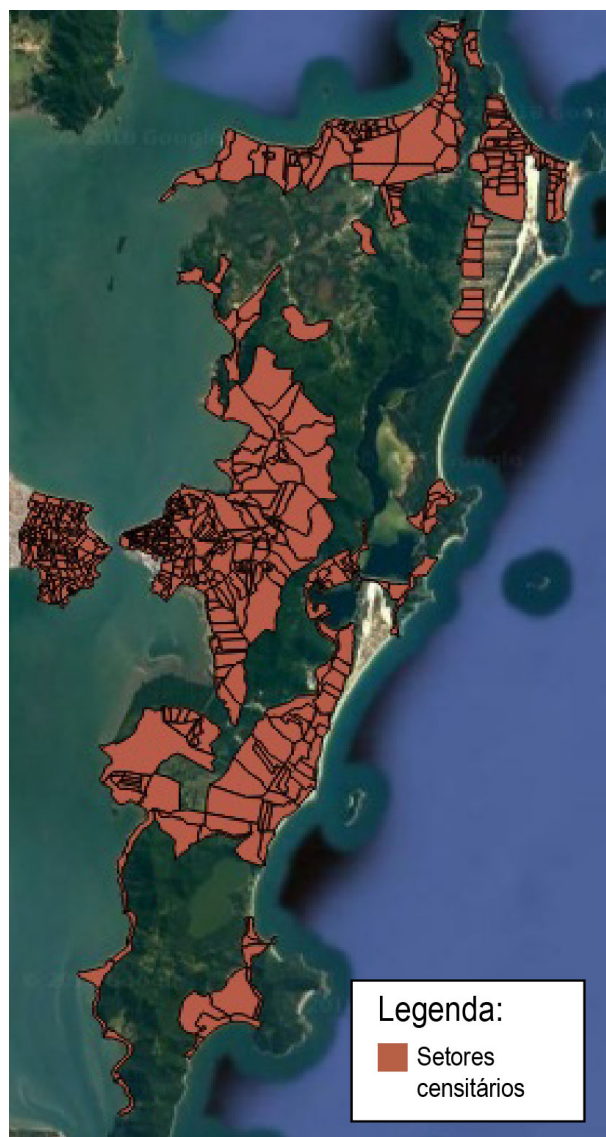
Fonte: Adaptado de *Qgis* (2018)

Para finalizar a junção dos setores censitários em bairros, fora utilizado um dos complementos do *Qgis*. Eles são contribuições externas, também chamados de *plugins*, que não acompanham a instalação básica do *software*. Suas instalações são permitidas com o intuito de adicionar recursos e funções. Hoje existem 959 *plugins* para o *Qgis*<sup>25</sup>. O complemento utilizado para a fusão dos setores em bairros foi o *Dissolve with stats*<sup>26</sup>, criado por Julie Pierson, baseado na ferramenta *dissolve* do *Qgis*, que agrega feições com base em um mesmo atributo da tabela associada (LOPES, 201-?.), adicionando a possibilidade de manter ou não os outros campos da tabela. Se elas forem de dados numéricos, há a possibilidade de fazer somas, média, mediana, entre outras operações.

<sup>25</sup>Disponível no *site* do *Qgis*: <<http://plugins.qgis.org/plugins/>>. Acesso em: 30 out. 2018

<sup>26</sup>Disponível no *site* do *Qgis*: <<http://plugins.qgis.org/plugins/DissolveWithStats/>>. Acesso em: 30 out. 2018

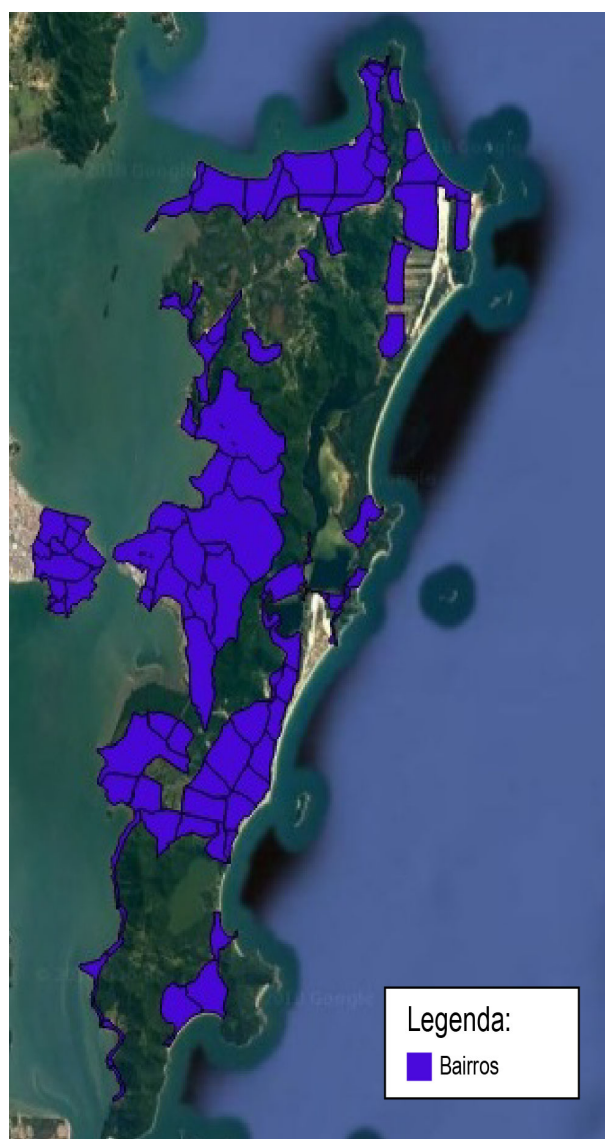
Figura 20: Setores Censitários de Florianópolis pós filtragem de população e renda



Fonte: Adaptado de IBGE (2010)

Logo, para unir os setores no mesmo bairro em que eles estão situados, em um novo *shapefile*, fora escolhido o atributo “Nome do bairro (NM\_BAIRRO)”. Além do atributo em questão, foram mantidos os campos: Identificação (ID. O número de identificação do primeiro setor censitário que o *Qgis* utilizou para a fusão será o ID do bairro); População e Renda (Somando esse atributos dos setores para a junção em bairros), resultando na Figura 21.

Figura 21: Bairros de Florianópolis



Fonte: Adaptado de IBGE (2010)

**Filtragem e fusão dos bairros:** De acordo com Censo de 2010 (IBGE), são listados 86 bairros na Grande Florianópolis, de acordo com a Tabela 3, o que não possibilitou utilizar cada bairro com uma zona de tráfego devido às limitações impostas pela versão estudante do Visum.

Tabela 3: Bairros de Florianópolis

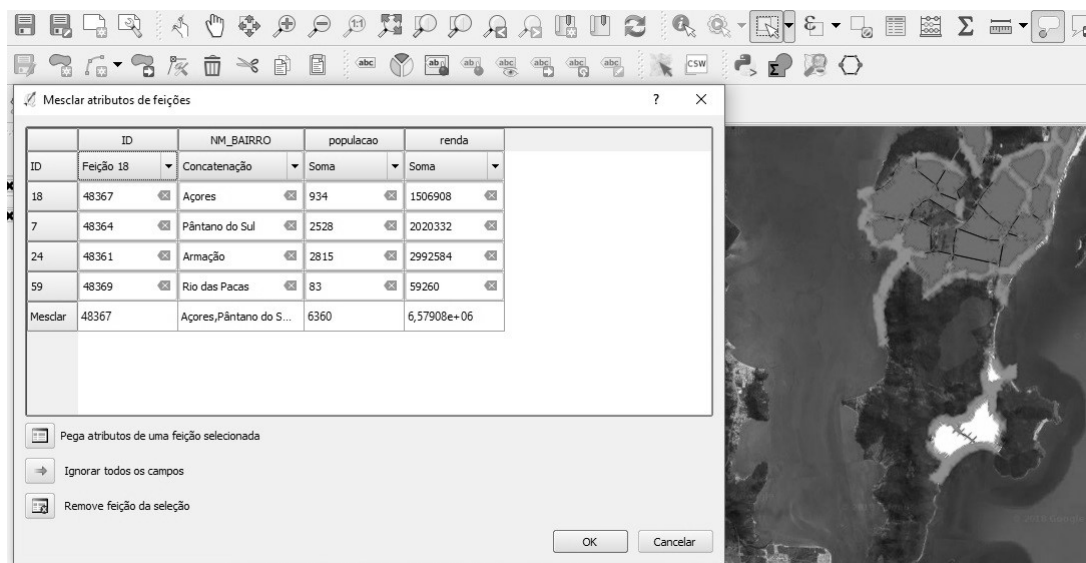
Bairro	População	Bairro	População	Bairro	População
Centro	44140	Campeche Leste	4372	Sambaqui	1403
Trindade	18696	Rio Tavares Central	4321	Barra do Sambaqui	1180
Capoeiras	18613	Santinho	3709	Ratones	1120
Capivari	17012	Jurere Leste	3608	Pedregal	1029
Itacorubi	15631	Campeche Central	3496	Praia Brava	975
Saco dos Limões	14661	José Mendes	3385	Açores	934
Agrônômica	14618	Vargem Grande	3354	Caiaçanga	917
Coqueiros	13217	Ponta das Canas	3162	Ingleses Norte	904
Monte Cristo	12680	Vargem do Bom Jesus	3148	Moenda	859
Jardim Atlântico	12128	Ressacada	3064	Canto da Lagoa	845
Córrego Grande	10519	Campeche Norte	2995	Daniela	786
Tapera da Base	9711	Armação	2815	Morro das Pedras	781
Rio Vermelho	9383	Pântano do Sul	2528	Autódromo	694
Costeira do Pirajubaé	9336	Alto Ribeirão Leste	2527	Retiro	604
Canasvieiras	8533	Cachoeira do Bom Jesus Leste	2468	Cacupé	601
Estreito	7830	Ingleses Sul	2412	Vargem Pequena	571
Saco Grande	7607	Rio Tavares do Norte	2402	Base Aérea	519
Canto	6439	Pedrita	2280	Costeira do Ribeirão	408
Monte Verde	6428	Porto da Lagoa	2143	Lagoinha do Norte	387
Abraão	5883	Itaguaçu	2113	Recanto dos Açores	372
Balneário	5805	Jurere Oeste	1911	Dunas da Lagoa	366
Lagoa	5643	Alto Ribeirão	1901	Tapera	364
Pantanal	5449	Santa Mônica	1653	Canto do Lamim	338
Barra da Lagoa	4784	Santo Antônio	1651	Caieira	271
João Paulo	4769	Lagoa Pequena	1621	Canto dos Araçás	258
Carianos	4651	Bom Abrigo	1510	Forte	254
Coloninha	4638	Vargem de Fora	1501	Praia Mole	204
Ingleses Centro	4545	Cachoeira do Bom Jesus	1456	Rio das Pacas	83
Campeche Sul	4498	Ribeirão da Ilha	1444		

Fonte: IBGE (2010)

Foi decidido criar 20 centróides, que serão as zonas de tráfego no *Visum*, excluindo os bairros do continente, já descartados da malha viária, e os com menor número de habitantes de acordo com o Censo 2010, já que são regiões onde o tráfego de veículos é menor.

Outro parâmetro para reduzir o número de regiões utilizado foi o de unir alguns bairros próximos geograficamente, que funcionam como apenas uma zona de tráfego, por utilizarem as mesmas vias na cidade. Assim, soma-se as populações e rendas deles, utilizando a função “Mesclar feições selecionadas”, como mostra a Figura 22. Os bairros mesclados são os da Tabela 4.

Figura 22: Mescla de feições seleccionadas



Fonte: Adaptado de *Qgis* (2018)

Tabela 4: Bairros mesclados

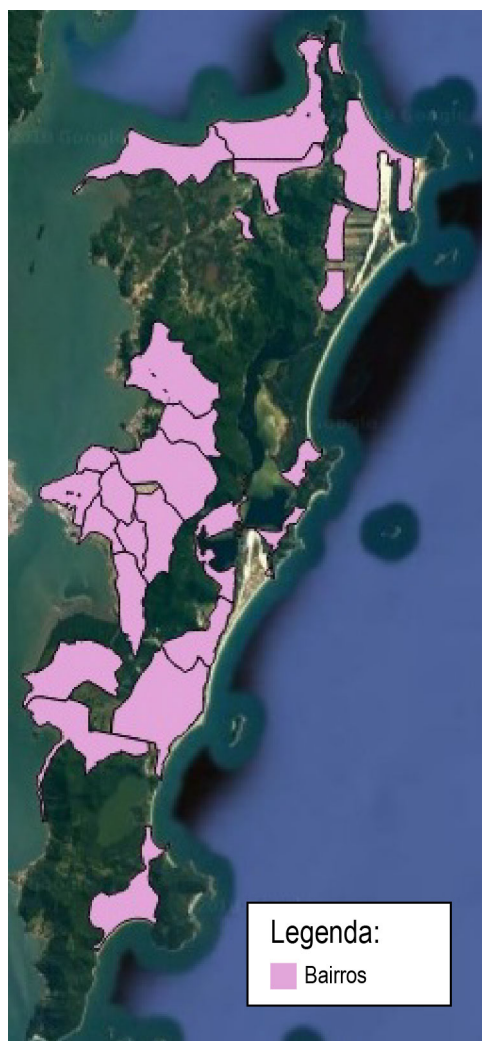
Centroide Lagoa	população	Centroide Campeche	população	Centroide Rio Tavares	população
Lagoa	5643	Campeche Central	3496	Rio Tavares Central	4321
Praia Mole	204	Campeche Norte	2995	Rio Tavares do Norte	2402
Porto da Lagoa	2143	Campeche Sul	4498	Lagoa Pequena	1621
Canto da Lagoa	845	Campeche Leste	4372		
Retiro	604	Moenda	859	<b>Total</b>	8344
Dunas da Lagoa	366	Autódromo	694	<b>Centroide Vargem</b>	
Canto dos Araçás	258	Morro das Pedras	781	Vargem Grande	3354
Barra da Lagoa	4784			Vargem do Bom Jesus	3148
<b>Total</b>	14847	<b>Total</b>	17695	Vargem de Fora	1501
<b>Centroide Ingleses</b>		<b>Centroide Canasvieiras</b>		Vargem Pequena	571
Ingleses Centro	4545	Canasvieiras	8533	<b>Total</b>	8574
Ingleses Sul	2412	Ponta das Canas	3162	<b>Centroide Carianos</b>	
Ingleses Norte	904	Cachoeira do Bom Jesus Leste	2468	Carianos	4651
Santinho	3709	Cachoeira do Bom Jesus	1456	Ressacada	3064
Rio Vermelho	9383	Praia Brava	975	Base Aérea	519
Capivari	17012	Lagoinha do Norte	387	<b>Total</b>	8234
<b>Total</b>	37965	<b>Total</b>	16981	<b>Centroide Armação</b>	
<b>Centroide Jurerê</b>		<b>Centroide Ribeirão</b>		Armação	2815
Jurerê Leste	3608	Alto Ribeirão Leste	2527	Pântano do Sul	2528
Canto do Lamim	338	Alto Ribeirão	1901	Açores	934
Forte	254	Ribeirão da Ilha	1444	Rio das Pacas	83
Daniela	786	Pedregal	1029	<b>Total</b>	6360
Jurerê Oeste	1911	Tapera da Base	9711		
<b>Total</b>	6897	<b>Total</b>	16612		

Outro filtro, para diminuir o número de zonas de tráfego, foi o de utilizar bairros, mesclados ou não, com mais de 5 mil habitantes.

Assim, o *shapefile* utilizado para a criação dos centróides ficou de acordo com a Figura 23, com os bairros, que se tornarão centróides, e suas populações somadas, na Tabela 5 .



Figura 23: Bairros de Florianópolis utilizados para a criação dos centróides



Fonte: Adaptado de IBGE (2010)

**Criação dos centróides e das zonas de tráfego:** Com os bairros unidos e filtrados, os centróides foram criados através da função “Centroides de Polígonos” do *Qgis*. Trata-se de um algoritmo de geometria, que cria uma nova camada de pontos, cada um deles representando o centroide dos polígonos, que no caso são os 20 bairros propostos. Os atributos associados a cada ponto na camada dos centróides são os mesmos associados ao polígono original (Quantum GIS Development Team, 2009).



Tabela 5: Bairros utilizados para a criação dos centroides

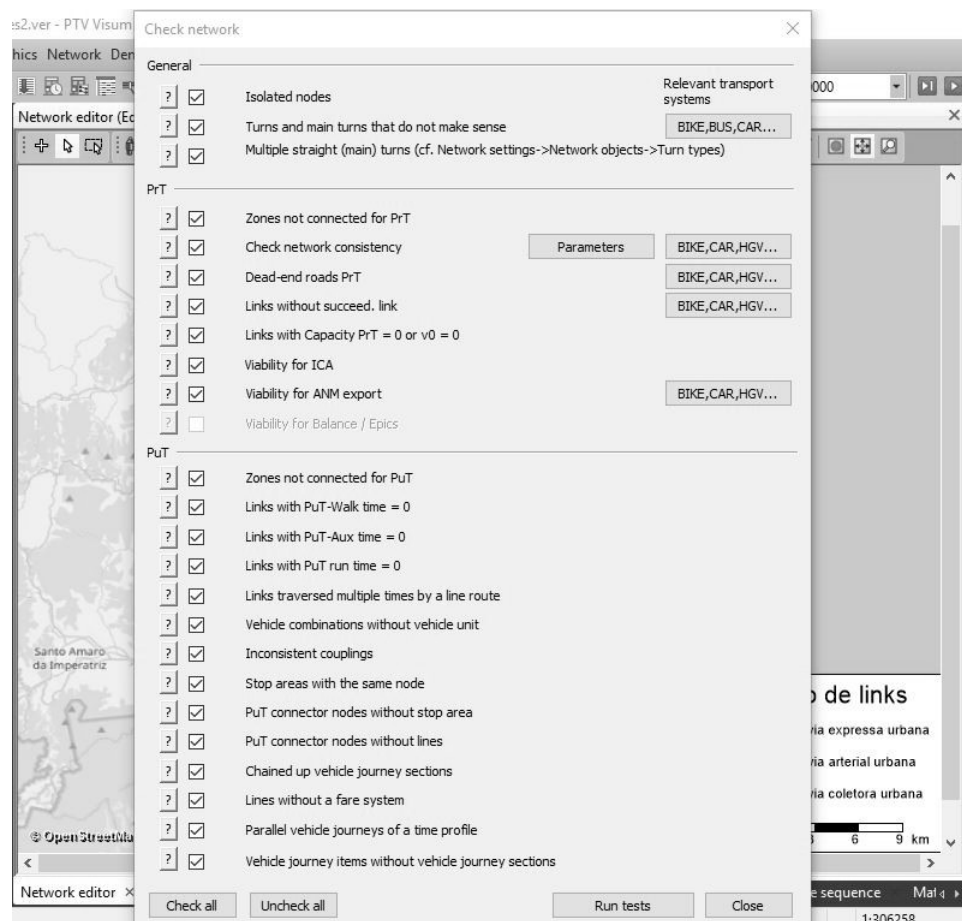
<b>Centroide</b>	<b>População</b>
Centro	44140
Ingleses	37965
Trindade	18696
Campeche	17695
Canasvieiras	16981
Ribeirão	16612
Itacorubi	15631
Lagoa da Conceição	14847
Saco dos Limões	14661
Agronômica	14618
Córrego Grande	10519
Costeira do Pirajubaé	9336
Vargem	8574
Rio Tavares	8344
Carianos	8234
Saco Grande	7607
Jurerê	6897
Monte Verde	6428
Armação	6360
Pantanal	5449

O *shapefile* dos centróides fora importado para o Visum para que eles fossem carregados como as 20 zonas de tráfego. Os campos “ID” e “NM\_BAIRRO” dos centróides foram importados como o número e o nome de identificação das zonas de tráfego, respectivamente.

As zonas são ligadas a um ponto específico da malha viária através da criação de conectores. No *Visum*, cada zona de tráfego recebeu 3 deles, ou seja, elas atraem e geram viagens em 3 pontos na malha.

**Verificação da malha viária:** Para a verificação da malha viária, o *Visum* possui a função *Check Network*, que dá a opção de realizar a checagem de parâmetros, de acordo com a Figura 24. O objetivo era saber se cada zona consegue criar caminhos para as outras 19 zonas. No caso, utilizou-se a função *Check network consistency*, do transporte privado (*PrT*) carro, checando todas as ligações entre zonas. Inicialmente, o *software* encontrou inconsistências, mostrando quais não estavam ligadas a quais. Para a solução dessas inconsistências de caminhos, é necessário criá-los, com a adição de novos *links*, nós e movimentos existentes nesses nós, de acordo com a malha viária de Florianópolis.

Figura 24: Checagem da malha viária no *Visum*



Fonte: *Visum* (2018)

**Criação da matriz Origem/Destino:** Preparada a parte de infraestrutura, começa-se a inserir os dados para o funcionamento da macrossimulação, com a criação da matriz de demanda Origem/Destino, para o transporte privado carro. O *Visum* possui a função de criação de matrizes de demanda, sendo necessário inserir nela os dados de viagens entre as zonas.

Para a produção desses dados hipotéticos, utilizou-se o *script* descrito no Anexo A. Com a execução dele, gerou-se uma matriz de viagens intrazonais no cenário da hora de pico da manhã. Porém, o *Visum* assume que as matrizes de transporte privado, na alocação de tráfego, estejam em unidade de veículos, no caso, carros (PTV, 2018b, p. 19). Por isso, a matriz de transporte privado deve ser dividida pela taxa de ocupação, que no caso será de 1,3 pessoa por carro.

Para que a matriz tenha sua funcionalidade exercida, deve-se inseri-la aos dados de demanda (no *software*, *Demand data*). Por ser uma matriz para carros, ela é anexada no segmento da demanda (no *software*, *Demand segments*) *Car*, para que a matriz seja utilizada na simulação de tráfego ao escolher esse meio de transporte.

**Alocação de tráfego** Por fim, é necessário criar uma sequência de procedimentos (*Procedure sequence*). Essa é a forma como o *Visum* organiza as análises necessárias para a simulação. O procedimento criado é uma alocação de transporte privado (*PrT assignment*). O objeto de referência para a simulação, é o carro. E o método de alocação escolhido foi a por equilíbrio, que distribui a demanda de acordo com o primeiro princípio de Wardrop (PTV, 2018b), que fornece os menores custos (tempos) por viagens (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2001).

Figura 25: Matriz Origem/Destino com dados de veículos

Matrix editor (Matrix 1 Car)																						
20 x 20	Name	1911	2815	3496	4321	4545	4651	47155	47884	47903	47917	47925	47930	47978	47979	47989	47994	48247	48336	48403		
	Sum	212,28	168,91	316,42	435,58	190,30	326,99	657,21	207,54	818,61	1228,12	4435,45	612,54	1070,39	827,37	1472,01	1059,21	575,37	176,98	678,53	260,38	
1911	Jureê	325,78	4,20	3,53	6,61	9,08	3,85	6,81	13,63	4,21	16,93	25,42	91,88	12,70	22,19	17,18	30,51	21,95	11,97	3,58	14,09	5,44
2815	Armação	458,39	6,21	4,69	8,98	12,48	5,60	9,43	19,20	6,12	23,99	35,90	129,66	17,92	31,31	24,10	42,88	30,90	16,63	5,21	19,70	7,38
3496	Campeche	780,62	10,58	8,17	15,24	21,24	9,53	16,05	32,69	10,42	40,84	61,12	220,75	30,51	53,31	41,02	73,17	52,61	28,31	8,87	33,52	12,65
4321	Rio Tavares	355,51	4,82	3,76	7,03	9,61	4,35	7,32	14,91	4,75	18,62	27,87	100,30	13,91	24,31	18,70	33,33	23,98	12,91	4,05	15,20	5,79
4545	Inglêses	1256,57	16,98	13,61	25,48	35,02	14,24	26,26	52,59	15,98	65,31	98,10	354,50	49,00	85,61	66,27	117,73	84,71	46,18	13,66	54,36	20,98
4651	Canasvieiras	362,34	4,91	3,86	7,22	9,94	4,42	7,32	15,17	4,83	18,93	28,34	102,34	14,15	24,72	19,02	33,92	24,39	13,12	4,11	15,67	5,95
47155	Centro	2677,94	36,14	28,89	54,07	74,48	32,57	55,71	110,76	35,60	138,98	209,18	754,93	104,21	182,06	147,65	250,70	180,36	97,94	30,32	115,81	44,55
47165	Vargem	642,81	8,68	6,96	13,02	17,90	7,82	13,42	26,87	8,14	33,35	50,11	181,11	25,03	43,74	33,86	60,14	42,27	23,60	7,28	27,78	10,73
47884	Agrônoma	1052,11	14,20	11,39	21,32	29,31	12,79	21,96	43,84	13,98	54,34	81,93	296,45	40,93	71,50	55,38	98,45	70,78	38,61	11,91	45,48	17,56
47903	Trindade	1236,71	16,72	13,37	25,01	34,40	15,07	25,77	51,77	16,47	64,24	95,96	348,62	48,19	84,20	64,98	115,55	83,05	45,31	14,02	53,38	20,61
47917	Itacorubi	568,97	7,70	6,16	11,53	15,79	6,94	11,93	23,89	7,58	29,66	44,55	159,21	22,15	38,70	30,09	53,23	38,43	20,97	6,46	24,50	9,50
47925	Saco Grande	602,99	8,04	6,54	12,24	16,82	7,24	12,61	25,24	7,92	31,34	47,08	170,17	23,08	40,58	31,81	56,51	40,66	22,18	6,74	26,10	10,05
47930	Monte Verde	367,90	4,90	3,99	7,47	10,27	4,41	7,70	15,41	4,82	19,14	28,75	103,90	14,09	24,54	19,42	34,50	24,82	13,54	4,11	15,94	6,16
47978	Saco dos Limões	974,43	13,18	10,48	19,61	27,01	11,88	20,20	40,73	12,98	50,79	76,01	274,89	38,00	66,39	50,85	91,11	65,50	35,51	11,06	42,09	16,16
47979	Córrego Grande	719,42	9,73	7,79	14,57	19,96	8,77	15,02	30,21	9,58	37,53	56,17	202,39	28,05	49,00	37,88	66,85	48,39	26,41	8,16	30,96	12,01
47989	Pantanal	408,82	5,52	4,42	8,27	11,37	4,98	8,52	17,15	5,44	21,29	31,86	115,17	15,92	27,82	21,48	38,17	27,40	14,97	4,63	17,64	6,81
47994	Costeira do Prajeubá	526,32	7,12	5,62	10,52	14,49	6,42	10,84	22,06	7,02	27,48	41,13	148,56	20,54	35,88	27,60	49,24	35,40	18,99	5,97	22,75	8,67
48247	Canasvieiras	947,57	12,80	10,26	19,20	26,39	11,53	19,79	39,62	12,12	49,20	73,91	267,10	36,92	64,50	49,93	88,70	63,82	34,80	10,18	40,96	15,82
48336	Lagoa	501,33	6,80	5,38	10,07	13,79	6,12	10,48	21,10	6,69	26,20	39,25	140,92	19,57	34,18	26,47	46,83	33,82	18,45	5,70	21,20	8,30
48403	Ribeirão	963,67	13,06	10,06	18,96	26,23	11,76	19,82	40,37	12,86	50,43	75,48	272,59	37,68	65,83	50,66	90,36	64,97	34,96	10,95	41,41	15,23

Fonte: adaptado de *Visum* (2018)

Com isso, pode-se executar a simulação e com o resultado da alocação de tráfego pela malha viária, utilizar os dados de demanda de veículos para a construção da microssimulação da interseção escolhida.

## 4.2 Elaboração dos modelos microscópicos

A partir dos resultados obtidos na macrossimulação, escolheu-se uma interseção para ser utilizada na microsimulação. Ela está situada no encontro da Rodovia Admar Gonzaga com a Avenida Madre Benvenuta (Figura 26), próxima a Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), sendo uma interseção semaforizada.

Figura 26: Interseção escolhida para a microsimulação



Fonte: *OpenStreetMap* (2018)

Ela foi modelada no *Vissim*, microsimulador que se conecta com o *Visum*, ambos da *PTV Vision*. Assim como o *Visum*, utilizou-se a versão estudante do *software*.

### 4.2.1 Modelagem da infraestrutura viária

**Criação da interseção no *software Vissim*** Para modelar a infraestrutura viária no *Vissim*, faz-se a inserção das vias, que são representadas pelos *links*. As junções delas são produzidas através de conectores (*Connectors*). Como facilitador, o *software* conta com um *plugin* do *OpenStreetMap*, que permite ativar o mapa do local que se deseja modelar no plano de fundo, sendo possível construir a malha viária sobre o mapa.

Os *links* funcionam como as faixas de rodagem. No *Vissim*, eles tem apenas um sentido, sendo o caminho entre dois pontos para os veículos. Ao inseri-lo, é possível fazer a mudança do tipo da via, inserir seu nome, adicionar mais faixas. Também pode-se alterar as características das faixas de tráfego, aumentando sua largura, não permitindo alguma classe de veículos de trafegar nela, proibindo conversões.

Os conectores, representam os movimentos de uma via em direção a outra. Ao inseri-los é necessário informar quais faixas realizam o movimento, além de ser possível fazer as mesmas mudanças das faixas de tráfego, porém aqui funcionam para as mudanças de faixas.

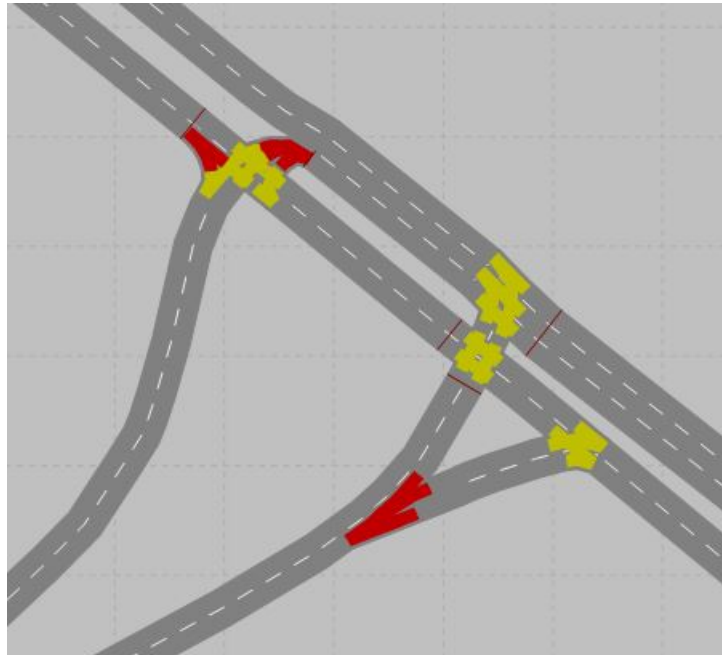
**Zonas de conflito** Com a adição dos movimentos entre os *links*, ocorrem zonas de conflito (*Conflict Areas*), sendo necessário definir a preferência do movimento ou se nenhum deles a possui. O *Vissim* detecta essas zonas e faz uma lista com elas, sendo possível fazer as alterações, conforme o caso. De acordo com o manual do *software*, nas zonas de conflito permite-se a melhor modelagem do comportamento de condução do que com as regras de prioridade, já que nessas zonas, com as preferências definidas, os motoristas planejam como atravessá-las de maneiras diferentes.

O funcionamento das áreas de conflito da-se por um esquema de cores, sendo:

- Verde: direito de passagem;
- Vermelho: não possui o direito;
- Ambos vermelhos: para conflitos de ramificação, para que os veículos possam “ver” uns aos outros. Não há direito de passagem, pois os veículos simplesmente permanecem em sua sequência original;
- Ambos amarelos: área de conflito passivo sem direito de passagem, onde os semáforos definem a preferência.

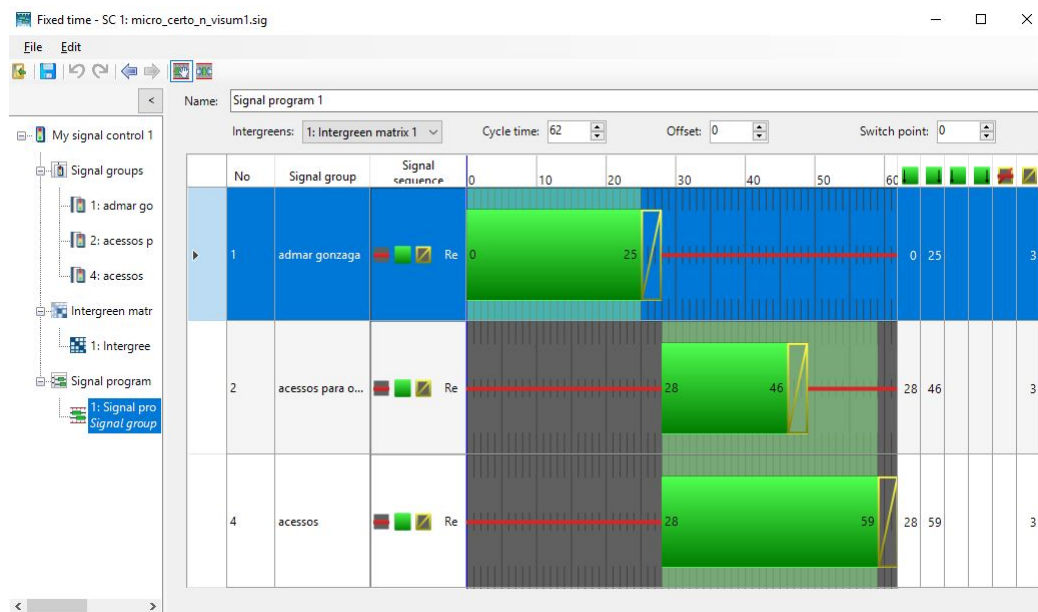
**Criação dos tempos semafóricos e adição dos semáforos** Os semáforos são criados em duas etapas. Primeiro cria-se um controle semafórico, que é o que comanda a operação dos semáforos. A partir dele, é possível criar os grupos semafóricos, a matriz entreverdes e os tempos de semáforo. Criou-se 3 grupos semafóricos distintos com um ciclo semafórico de 62 segundos.

Figura 27: Zonas de conflito na interseção



Fonte: adaptado de *Vissim* (2018)

Figura 28: Criação dos grupos semafóricos



Fonte: adaptado de *Vissim* (2018)

A segunda etapa é a de posicionamento dos semáforos, em um *link* ou conector, fazendo a

escolha do controle e grupo semafórico que se deseja. Na interseção existem 6 semáforos, de acordo com a Figura 29:

Figura 29: Semáforos da interseção



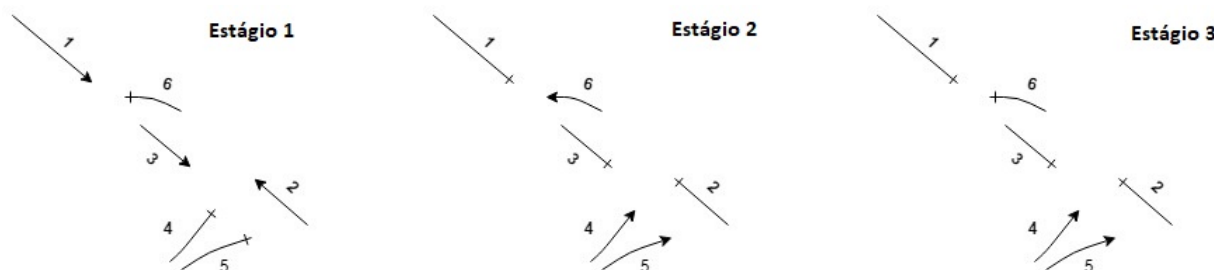
Fonte: adaptado de *OpenStreetMap* (2018)

- Três na Rodovia Admar Gonzaga, um em cada sentido, com 25 segundos de tempo de verde e 3 de tempo de amarelo;
- Um no acesso da Rodovia Admar Gonzaga para a Avenida Madre Benvenuta, com 18 segundos de tempo verde e 3 de tempo de amarelo;
- Dois nos acessos para ambos os sentidos da Avenida Madre Benvenuta para a Rodovia Admar Gonzaga, com 31 segundos de tempo de verde e 3 de tempo de amarelo.

Além disso, a matriz entreverdes, o tempo que é necessário entre os tempos de verde de semáforos conflituosos, é de 3 segundos.

O diagrama de estágios semafóricos da interseção é de acordo com a Figura 30.

Figura 30: Estágios semafóricos da interseção



#### 4.2.2 Modelagem da demanda

Para a modelagem da demanda é necessário fazer a alocação dos veículos na malha viária. Utilizou-se um modelo estocástico, a alocação de tráfego dinâmica (do *software*, *Dynamic Assignment*), onde as rotas dos veículos são aleatórias, criadas pelo *Vissim*. Segundo Barceló (2010), há dois motivos para incluir a escolha de rotas em uma microsimulação com o *Vissim*: se a rede viária for grande, ou se for de desejo aumentá-la, torna-se impossível inserir manualmente todas as rotas de origem e destino. Também pois é de sumo interesse a simulação com escolhas de rotas por parte dos condutores, como acontece no dia-a-dia.

O procedimento no *Vissim* baseia-se em iterações da simulação, ou seja, uma rede modelada é simulada repetitivamente e os motoristas escolhem suas rotas com base nos custos das viagens que eles experimentaram durante as simulações anteriores (BARCELÓ, 2010).

De acordo com Ortuzar e Willumsen (2001), estende-se para o problema de alocação dinâmica, o primeiro princípio de Wardrop ou equilíbrio para o usuário: “Em condições de equilíbrio em redes onde o congestionamento varia ao longo do tempo, o tráfego se organiza para que, a cada instante, os custos incorridos pelos motoristas nas rotas utilizadas sejam iguais e não maior do que aqueles em qualquer rota não utilizada.”

Para utilizar esse método de alocação é necessário criar zonas de tráfego, que vão gerar e atrair as viagens. No *Vissim*, esses pontos de partida e destinos dos usuários devem estar localizados em estacionamentos (no *software*, *Parking Lots*), ou seja, as viagens originadas ou terminadas de uma zona devem começar ou terminar em um estacionamento, sendo que uma zona pode ter mais de um deles, não sendo o caso desta microsimulação.

Os estacionamentos devem estar sobre um *link* e entre dois nós (no *software*, *nodes*). Os nós são estruturas para reduzir a complexidade do modelo da malha viária. Segundo PTV (2018a):

A geometria da rede rodoviária é modelada de uma forma muito detalhada no *Vissim*. Essa exatidão não é necessária para a decisão de um caminho específico por um usuário da rede. A rota de tráfego exata no nó não é relevante; ao invés disso, as direções nos nós são relevantes (p.666).

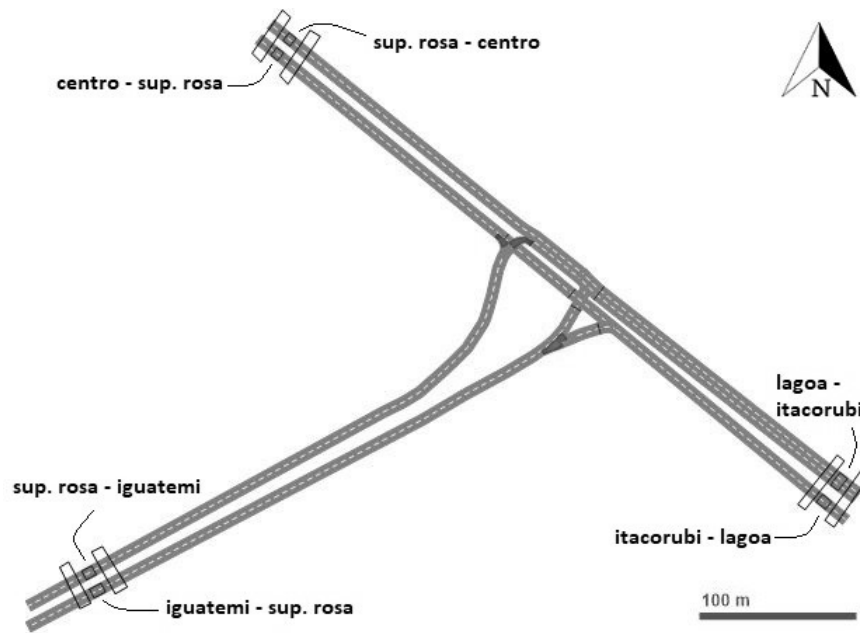


Adicionando-os nessas condições, troca-se o tipo do estacionamento para *Zone Connector* (Figura 31), o que configura-o como uma entrada e saída de veículos para a zona desejada. Na aba *Dynamic Assignment*, seleciona-se ou cria-se a zona em que o estacionamento está inserido. O número de zonas define a dimensão da matriz Origem-Destino. Foram criados 6 estacionamentos, nas extremidades da malha viária, e 6 zonas de tráfego, identificadas na Figura 32.

Figura 31: Criação dos estacionamentos no *Vissim*

Fonte: adaptado de *Vissim* (2018)

Figura 32: Malha viária construída no *Vissim*



Fonte: adaptado de *Vissim* (2018)

**Dados de demanda do *Visum*** Utilizou-se os dados de fluxo de veículos obtidos na macro-simulação (Tabela 6), inseridos no *Vissim* pelo autor.

Tabela 6: Matriz Origem-Destino com os dados do *Visum*

	lagoa - itacorubi	itacorubi - lagoa	centro - sup. rosa	sup. rosa - centro	iguatemi - sup. rosa	sup. rosa - iguatemi
lagoa - itacorubi	0	0	0	1100	0	21
itacorubi - lagoa	0	0	0	0	0	0
centro - sup. rosa	0	1142	0	0	0	0
sup. rosa - centro	0	0	0	0	0	0
iguatemi - sup. rosa	0	1211	0	1240	0	0
sup. rosa - iguatemi	0	0	0	0	0	0

Porém como a demanda no *Visum* é a da hora de pico inteira e a versão estudante do *Vissim* permite 10 minutos de simulação, dividindo-a por 6 encontra-se uma demanda uniforme na hora-pico, resultando na Tabela 7, utilizada como a matriz Origem-Destino de tráfego para a microsimulação.

Tabela 7: Matriz Origem-Destino utilizada no *Vissim*

	lagoa - itacorubi	itacorubi - lagoa	centro - sup. rosa	sup. rosa - centro	iguateми - sup. rosa	sup. rosa - iguateми
lagoa - itacorubi	0	0	0	184	0	4
itacorubi - lagoa	0	0	0	0	0	0
centro - sup. rosa	0	191	0	0	0	0
sup. rosa - centro	0	0	0	0	0	0
iguateми - sup. rosa	0	202	0	207	0	0
sup. rosa - iguateми	0	0	0	0	0	0

Por ter sido usada uma demanda uniforme, admitiu-se o possível subdimensionamento da via, já que sabe-se que na hora de pico o volume de veículos não é uniforme no tempo (BRASIL, 2006).

Com isso, foi possível executar a microsimulação, com o tempo de 10 minutos e 10 iterações. Esse cenário foi chamado de Cenário 1.

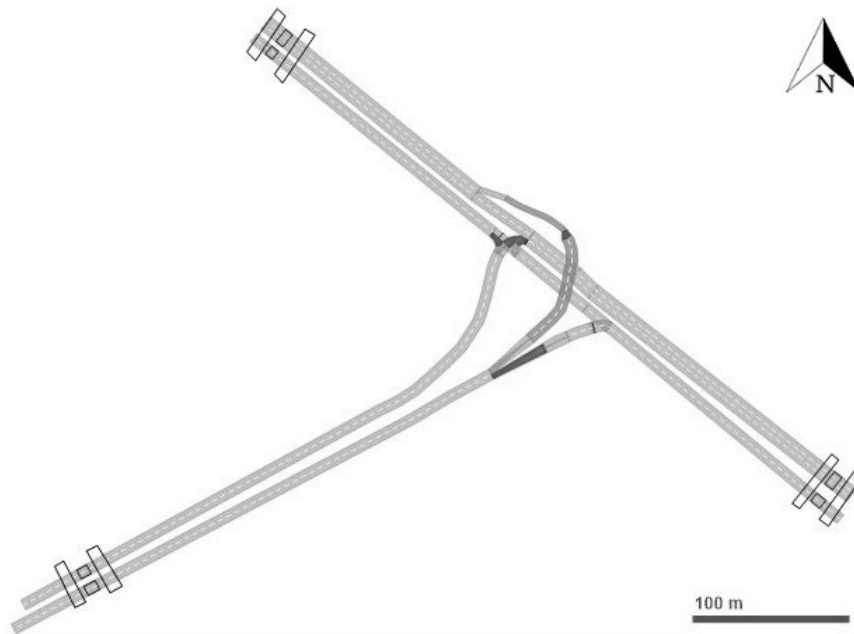
#### 4.2.3 Cenários alternativos

**Viaduto - Cenário 2** Um dos cenários alternativos executados foi a construção de um viaduto no sentido da zona de tráfego “iguateми - sup. rosa” para a zona “sup. rosa - centro”. A escolha do local foi devido à formação de filas no cenário simulado anteriormente.

Como no cenário anterior todas as vias estavam na mesma altura, para a construção do viaduto foi necessário criar um nível superior para ele (no *software*, *level*). Com uma nova altitude, cria-se o *link* do viaduto, trocando o campo de nível para o desejado.

O viaduto possui duas faixas de rolamento, que convergem para uma em sua saída na Rodovia Admar Gonzaga (Capítulo 4.2, Figura 26). Além disso, criou-se uma terceira faixa na Rodovia, destino do fluxo de veículos do viaduto, conforme a Figura 33. Com sua adição, eliminou-se dois dos semafóros no cruzamento, os estágios 2 e 4 (de acordo com a Figura 30, página 52).

Figura 33: Cenário alternativo com viaduto no *Vissim*



Fonte: adaptado de *Vissim* (2018)

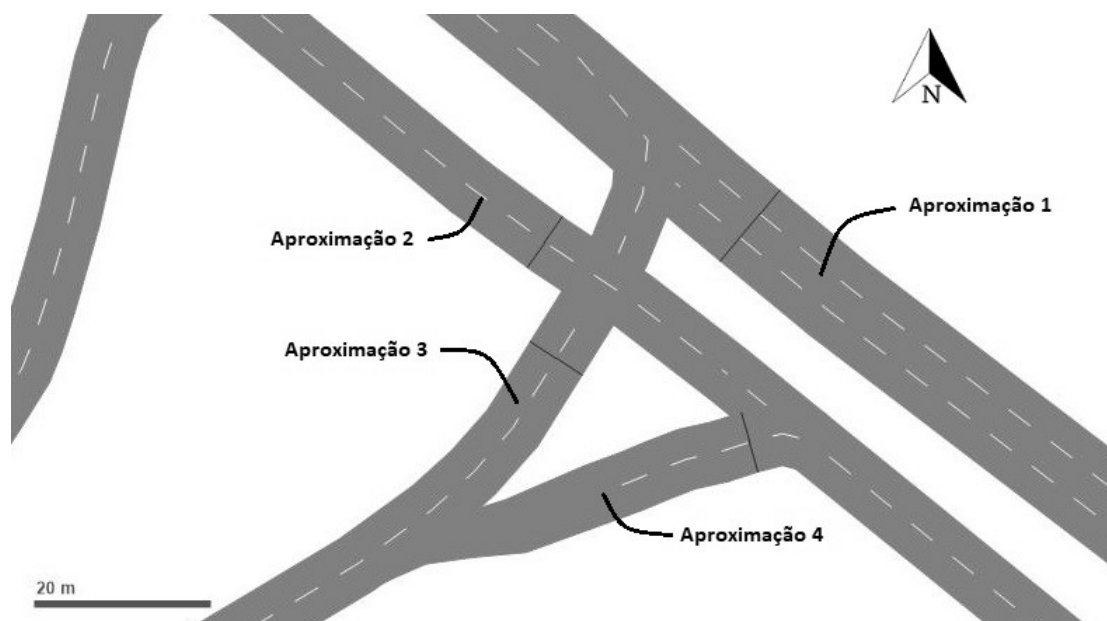
**Dimensionamento dos semáforos - Cenário 3** Para o dimensionamento dos semáforos, três fatores são necessários<sup>27</sup>: determinar o tempo de ciclo ótimo da interseção; calcular os tempos de verde necessários para cada fase, em função do ciclo ótimo adotado; calcular as defasagens entre os semáforos adjacentes, não sendo necessário para a interseção do trabalho.

Utilizou-se o método para dimensionamento de semáforos de Webster e Cobbe (1966). Para dimensionar os 2 estágios da interseção, utilizou-se a configuração da Figura 34:

---

<sup>27</sup>Disponível em: <[http://www.dtt.ufpr.br/eng\\_trafego\\_optativa/arquivos/SEMAFOROS\\_PARTEIL.pdf](http://www.dtt.ufpr.br/eng_trafego_optativa/arquivos/SEMAFOROS_PARTEIL.pdf)>. Acesso em: 08 nov. 2018

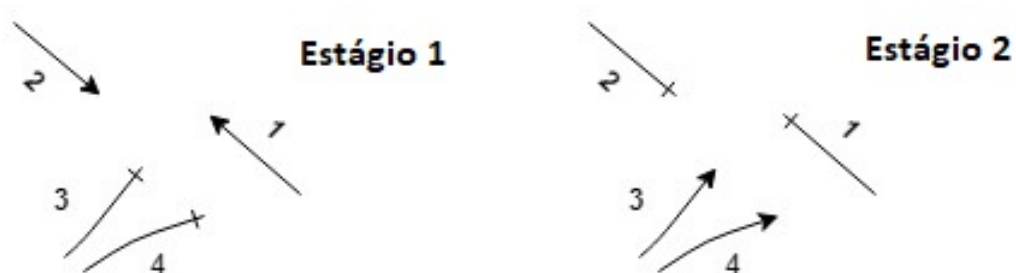
Figura 34: Configuração do cruzamento para aplicação do modelo de Webster



Fonte: adaptado de *Vissim* (2018)

Sendo que as aproximações 1 e 2 pertencem ao mesmo estágio semafórico, bem como a 3 e 4, de acordo com a Figura 35.

Figura 35: Diagrama de estágios para o cenário 3



Os dados utilizados foram:

- tempo de amarelo = 3 segundos;
- tempo perdido por fase = 4 segundos, para cidades grandes<sup>28</sup>;
- entreverdes = tempo de amarelo;

<sup>28</sup>Disponível em: <[http://www.dtt.ufpr.br/eng\\_trafego\\_optativa/arquivos/SEMAFOROS\\_PARTEII.pdf](http://www.dtt.ufpr.br/eng_trafego_optativa/arquivos/SEMAFOROS_PARTEII.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2018

- largura das faixas de rolamento = 3,5 metros;
- demanda e fluxo de saturação para a aproximação 1 ( $q_1$ ) = 188 veículos/10min e 919 veículos/10min de tempo de verde;
- demanda e fluxo de saturação para a aproximação 2 ( $q_2$ ) = 191 veículos/10min e 613 veículos/10min de tempo de verde;
- demanda e fluxo de saturação para a aproximação 3 ( $q_3$ ) = 207 veículos/10min e 613 veículos/10min de tempo de verde;
- demanda e fluxo de saturação para a aproximação 4 ( $q_4$ ) = 202 veículos/10min e 613 veículos/10min de tempo de verde.

Fez-se a correção do fluxo de saturação para 10 minutos de tempo de verde, dividindo-os por 6, resultando nos valores mostrados.

**Parâmetros para comparação entre os cenários** Foram utilizados os seguintes parâmetros para comparação entre os cenários, com suas definições segundo PTV (2018a):

- Máximo tamanho da fila ( $QLenMax$ ) [m]: Em cada intervalo de tempo, o comprimento da fila é medido a montante pelo contador de fila e o máximo é calculado por intervalo de tempo.
- Média da velocidade ( $SpeedAvg$ ) [km/h]: (Distância total ( $DistTot$ ) / Tempo total de viagem ( $TravTmTot$ ))
- Atraso médio de todos os veículos ( $DelayAvg$ ) [s]: Média de atraso por veículo: Atraso total / (Número de veículos na rede + número de veículos que chegaram)
- Distância percorrida por todos veículos ( $DistTot$ ) [km]: Distância total de todos os veículos da rede ou daqueles que já saíram.
- Tempo percorrido pelos veículos ( $TravTmTot$ ) [s]: Tempo total de viagem de veículos que viajam dentro da rede ou que já saíram dela.
- Total de paradas ( $StopsTot$ ) [ ]: Número total de paradas de todos os veículos que estão na rede ou entram nela.

Uma parada é contada se a velocidade do veículo no final do intervalo de tempo anterior for maior que 0 e for 0 no final do intervalo de tempo atual.

- Atraso devido as paradas ( $DelayStopTot$ ) [s]: Tempo de paralisação total de todos os veículos que estão na rede ou chegaram nela.  
Tempo de paralisação = tempo em que o veículo está parado (velocidade = 0).
- Total de veículos que chegaram em seus destinos ( $VehArr$ ) [ ]: Número total de veículos que já chegaram ao seu destino e foram removidos da rede antes do final da simulação.
- Total de veículos na malha ( $VehACt$ ) [ ]: Número de veículos na malha viária ao fim da simulação.
- Atraso total ( $DelayTot$ ) [s]: atraso total de todos os veículos da rede ou daqueles que já saíram, quando sua velocidade real é menor que a desejada. Inclui-se tempos de paradas em semáforos.

Além desses, criou-se dois caminhos, através da ferramenta *Vehicle travel times*, para o cálculo do tempo de viagem ( $TravTm$ )<sup>29</sup> :

1. da zona de tráfego “iguate-mi-sup.rosa” para a zona de tráfego “sup.rosa - centro”;
2. da zona de tráfego “iguate-mi-sup.rosa” para a zona de tráfego “itacorubi - lagoa”.

Que são os trajetos onde observou-se maior fluxo e formação de fila no cenário atual.

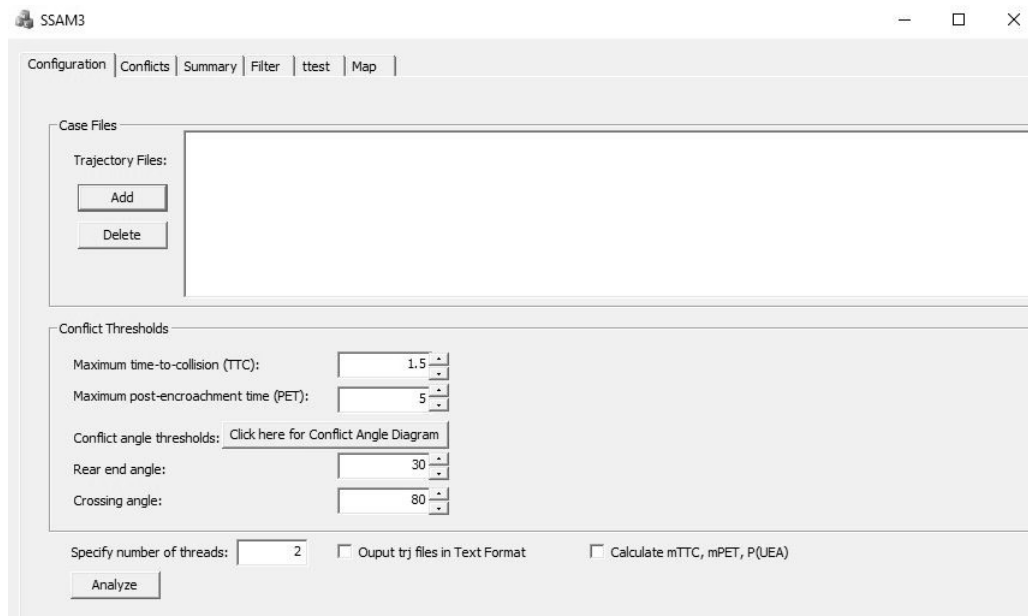
#### 4.2.4 Análise de segurança

O SSAM, a partir de um arquivo que contém informações sobre as trajetórias dos veículos, pós simulação do *Vissim*, analisa as interações veículo-veículo para identificar prováveis eventos de conflito e catalogá-los, de acordo com sua natureza. Ainda, para cada evento, o *software* calcula medidas de segurança, como tempo mínimo de colisão, taxa de desaceleração inicial, taxa máxima de desaceleração, entre outros.

---

<sup>29</sup>Média dos tempos de viagem dos veículos que percorrem o trajeto, em segundos (PTV, 2018a).

Figura 36: Janela inicial do SSAM



Fonte: SSAM (PU et al., 2008)

Para a comparação, fez-se a análise de cada cenário de simulação, listando os tipos de conflitos e onde eles ocorrem com os mapas de colisão.

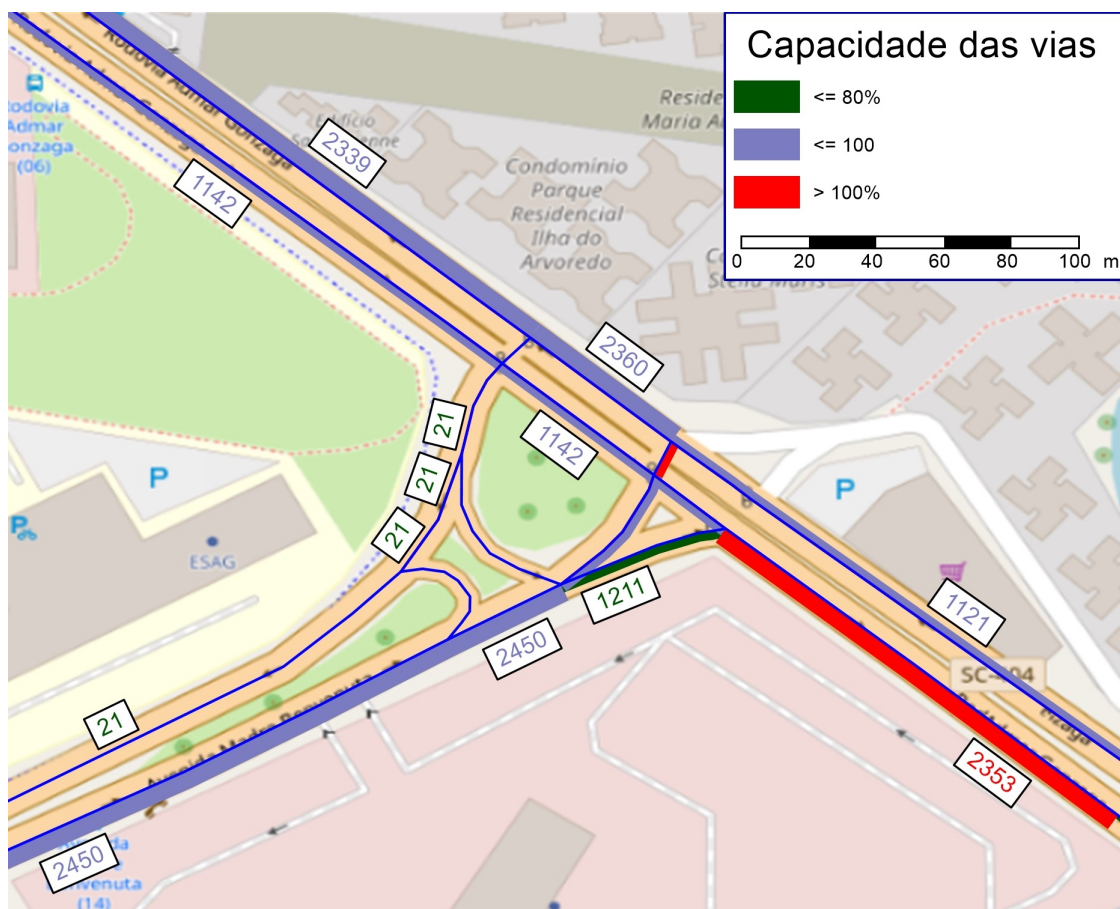


## 5 Resultados e análise comparativa

### 5.1 Resultado da macrossimulação

Os resultados da alocação de tráfego, da interseção utilizada na microsimulação, constam na Figura 37.

Figura 37: Dados de demanda da interseção no *Visum*



Fonte: adaptado de *Visum* (2018)

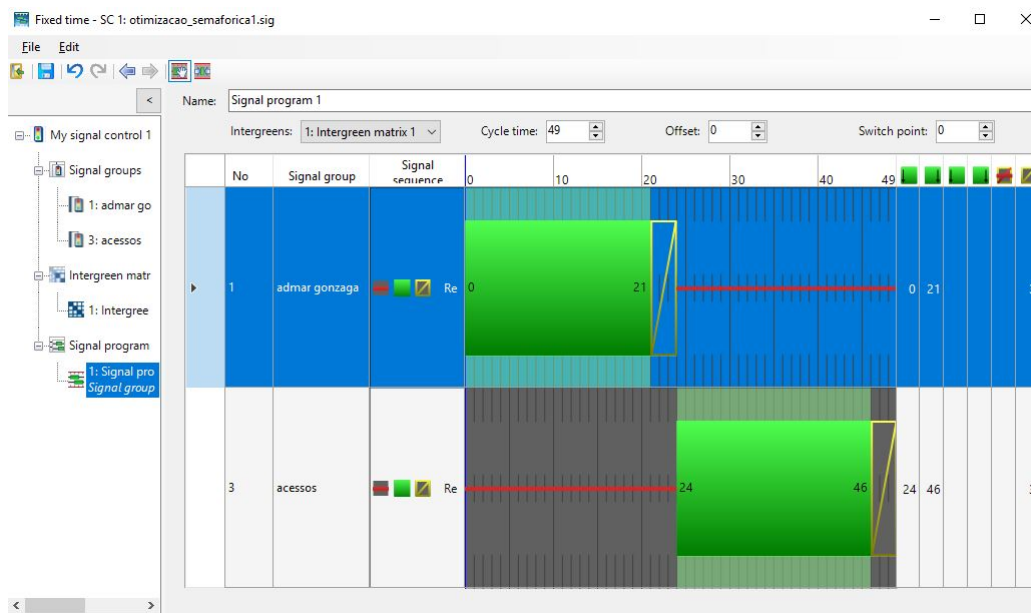
Sendo que os dados de demanda são em unidade de veículos.

### 5.2 Resultado do dimensionamento semafórico do cenário 3

Com os cálculos de dimensionamento de semáforos de Webster e Cobbe (1966), definiu-se um tempo de ciclo ótimo de 49 segundos, sendo 21 segundos de verde para o primeiro estágio e 22 para o segundo.

Esses resultados foram inseridos no *Vissim* para a simulação do Cenário 3, de acordo com a Figura 38.

Figura 38: Tempo de semáforo de acordo com o dimensionamento de Webster



Fonte: adaptado de *Vissim* (2018)

### 5.3 Resultados das microsimulações

Utilizando a média, desvio padrão, resultados máximos e mínimos das 10 iterações para cada cenário, obteve-se os resultados.

Tabela 8: Resultados do cenário 1

<b>Cenário 1</b>					
	<b>Unidade</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>Máximo tamanho da fila</b>	[m]	365,84	60,14	319,25	435,71
<b>Média da velocidade</b>	[km/h]	34,39	0,83	33,42	35,03
<b>Atraso médio de todos os veículos</b>	[s]	26,77	1,22	25,83	28,18
<b>Distância percorrida por todos veículos</b>	[km]	449,59	3,90	445,06	452,61
<b>Tempo percorrido pelos veículos</b>	[s]	47081,72	735,76	46511,80	47936,60
<b>Total de paradas</b>	[ ]	877	69	823	957
<b>Atraso devido as paradas</b>	[s]	9313,85	521,79	8909,67	9920,11
<b>Total de veículos que chegaram em seus destinos</b>	[ ]	696	5	691	700
<b>Total de veículos na malha</b>	[ ]	92	5	88	97
<b>Atraso total</b>	[s]	21093,35	959,01	20350,51	22207,61
<b>Tempo de viagem da rota 1</b>	[s]	74,91	1,81	73,50	77,02
<b>Tempo de viagem da rota 2</b>	[s]	71,62	2,19	69,92	74,17

Tabela 9: Resultados do cenário 2

<b>Cenário com viaduto</b>					
	<b>Unidade</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>Máximo tamanho da fila</b>	[m]	68,45	0,18	67,96	68,58
<b>Média da velocidade</b>	[km/h]	47,38	0,23	47,18	47,66
<b>Atraso médio de todos os veículos</b>	[s]	9,84	0,20	9,60	10,02
<b>Distância percorrida por todos veículos</b>	[km]	426,39	0,00	426,39	426,40
<b>Tempo percorrido pelos veículos</b>	[s]	32395,89	158,85	32210,20	32535,30
<b>Total de paradas</b>	[ ]	285	13	270	301
<b>Atraso devido as paradas</b>	[s]	3649,20	48,96	3589,13	3737,54
<b>Total de veículos que chegaram em seus destinos</b>	[ ]	736	0	736	736
<b>Total de veículos na malha</b>	[ ]	52	0	52	52
<b>Atraso total</b>	[s]	7755,09	160,08	7568,54	7896,19
<b>Tempo de viagem da rota 1</b>	[s]	39,69	0,82	38,62	40,47
<b>Tempo de viagem da rota 2</b>	[s]	39,93	0,11	39,86	40,16

Tabela 10: Resultados do cenário 3

<b>Cenário com dimensionamento de semáforo</b>					
	<b>Unidade</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>Máximo tamanho da fila</b>	[m]	146	0	146	146
<b>Média da velocidade</b>	[km/h]	40,77	0,03	40,75	40,83
<b>Atraso médio de todos os veículos</b>	[s]	16,23	0,03	16,17	16,24
<b>Distância percorrida por todos veículos</b>	[km]	419,49	0,19	419,4	419,86
<b>Tempo percorrido pelos veículos</b>	[s]	37040,4	13,44	37014,9	37046,9
<b>Total de paradas</b>	[ ]	540	1	538	540
<b>Atraso devido as paradas</b>	[s]	5389,83	11,89	5367,27	5395,47
<b>Total de veículos que chegaram em seus destinos</b>	[ ]	735	1	734	737
<b>Total de veículos na malha</b>	[ ]	53	1	51	54
<b>Atraso total</b>	[s]	12788,71	24,61	12742,02	12800,39
<b>Tempo de viagem da rota 1</b>	[s]	51,82	0,1	51,64	51,87
<b>Tempo de viagem da rota 2</b>	[s]	44,46	0,04	44,39	44,48

**Comparação entre os cenários** A comparação das médias dos três cenários pode ser observada das Figuras 39 à Figura 44:

Figura 39: Comparação gráfica dos cenários

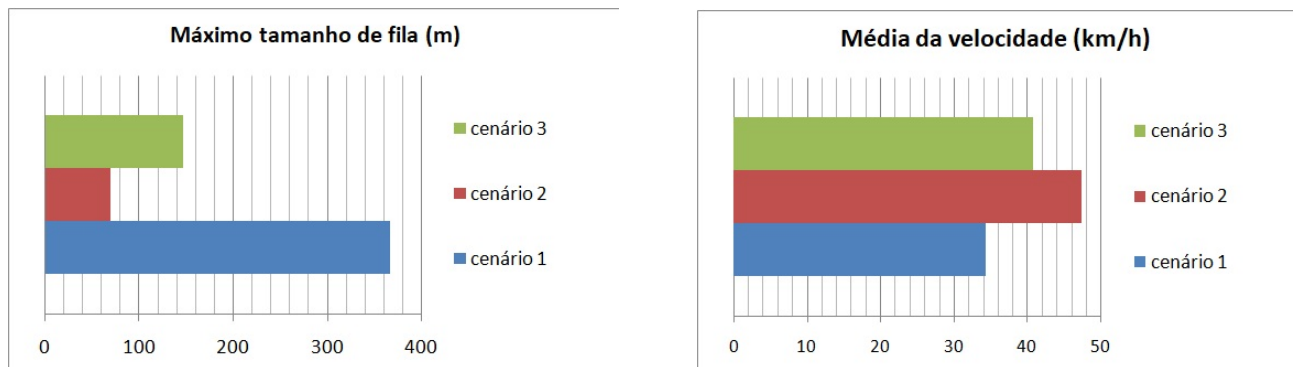


Figura 40: Comparação gráfica dos cenários

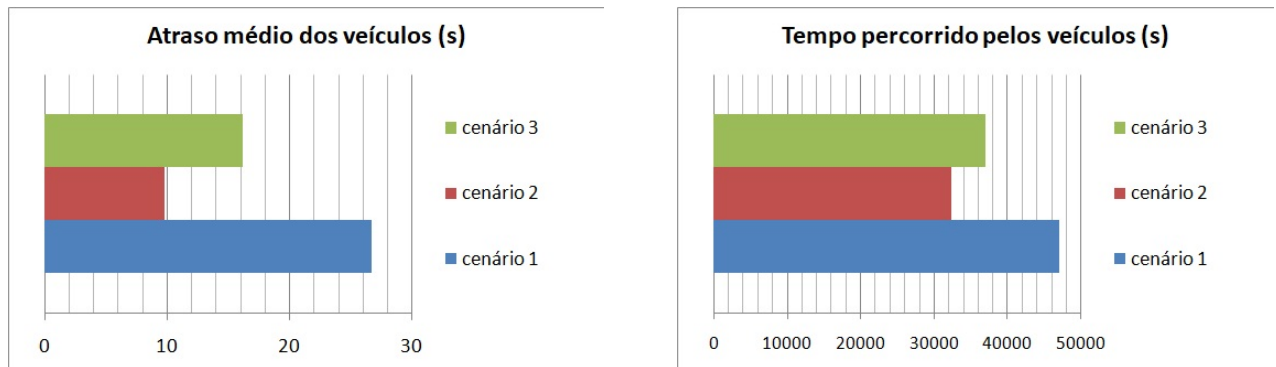


Figura 41: Comparação gráfica dos cenários

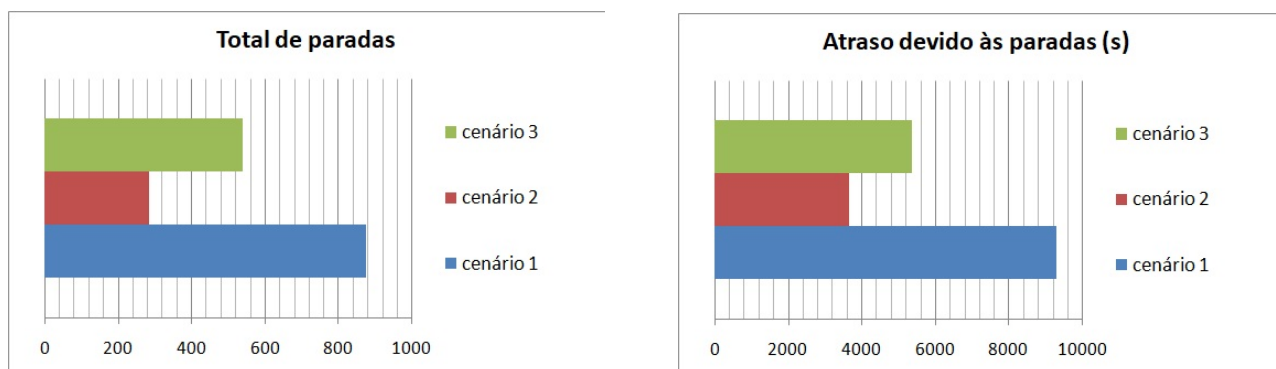


Figura 42: Comparação gráfica dos cenários

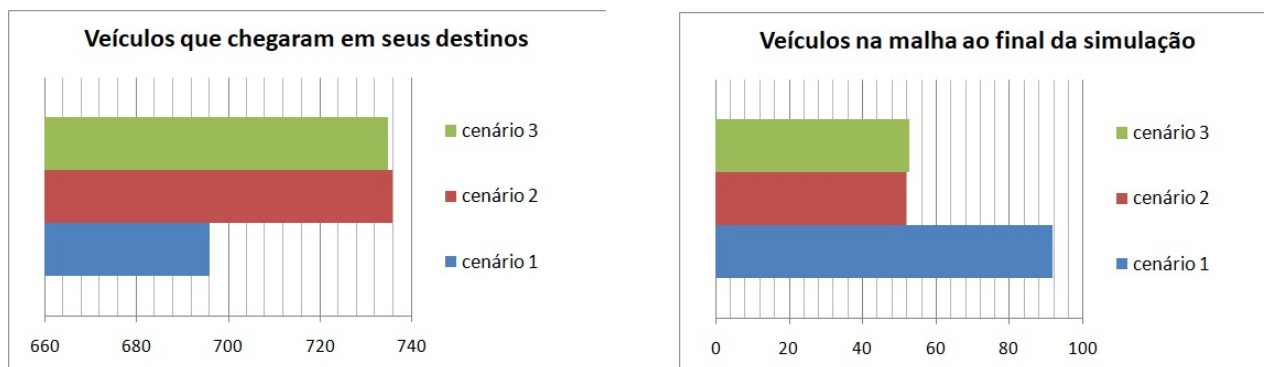


Figura 43: Comparação gráfica dos cenários

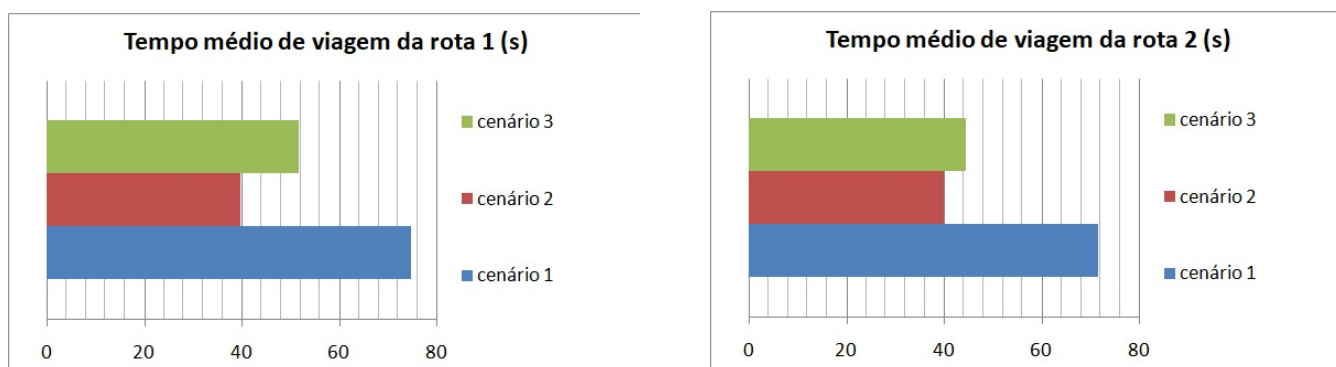
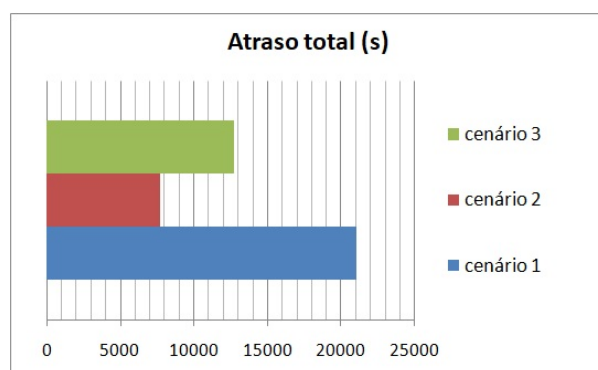


Figura 44: Comparação gráfica dos cenários



## Considerações dos resultados

**Cenário 1** O primeiro cenário consta com a malha carregada de veículos com um tempo semafórico não dimensionado, aleatório. Com isso, os usuários enfrentam mais congestionamentos viários, com um tempo de atraso elevado e velocidade mais baixa. Durante o experimento, foi

possível observar as formações de fila na Avenida Madre Benvenuta (De acordo com a Figura 26, Capítulo 4.2), sendo o caminho das rotas 1 e 2.

Dos três cenários, o cenário 1 foi o que apresentou os piores resultados em todos os indicadores de comparação.

**Viaduto - Cenário 2** O cenário 2 tem o tráfego de veículos mais fluido, com menos tempo de atraso, menos filas e menos paradas forçadas. Isso devido ao viaduto que elimina duas zonas de conflito, que eram administradas por semáforos. Dos três cenários ele foi o que obteve melhores resultados em todos os parâmetros.

Apesar da melhora evidente, o viaduto é uma obra de arte com altos custos para os cofres públicos e/ou privados, sendo uma alternativa extrema para a solução de problemas de transportes.

**Dimensionamento dos semáforos - Cenário 3** O cenário com apenas mudanças nos tempos semaforicos mostrou resultados medianos comparados com os outros dois, sendo uma boa alternativa em questão custo/benefício. Com a mesma matriz Origem-Destino do primeiro cenário, apresentou melhores resultados.

## 5.4 Análise de segurança

Os resultados obtidos foram:

Tabela 11: Resultados do cenário 1

Cenário 1	
Tipo de colisão	Quantidade
<i>Crossing</i>	0
<i>Rear end</i>	61
<i>Lane Change</i>	15
<b>Total</b>	<b>76</b>



Tabela 12: Resultados do cenário 2

Cenário 2	
Tipo de colisão	Quantidade
<i>Crossing</i>	48
<i>Rear end</i>	31
<i>Lane Change</i>	47
<b>Total</b>	126

Tabela 13: Resultados do cenário 3

Cenário 3	
Tipo de colisão	Quantidade
<i>Crossing</i>	3
<i>Rear end</i>	185
<i>Lane Change</i>	43
<b>Total</b>	231

**Comparação entre os cenários** A comparação dos números de acidentes dos três cenários pode ser observada das Figuras 45 à Figura 46.

Figura 45: Comparação gráfica dos cenários

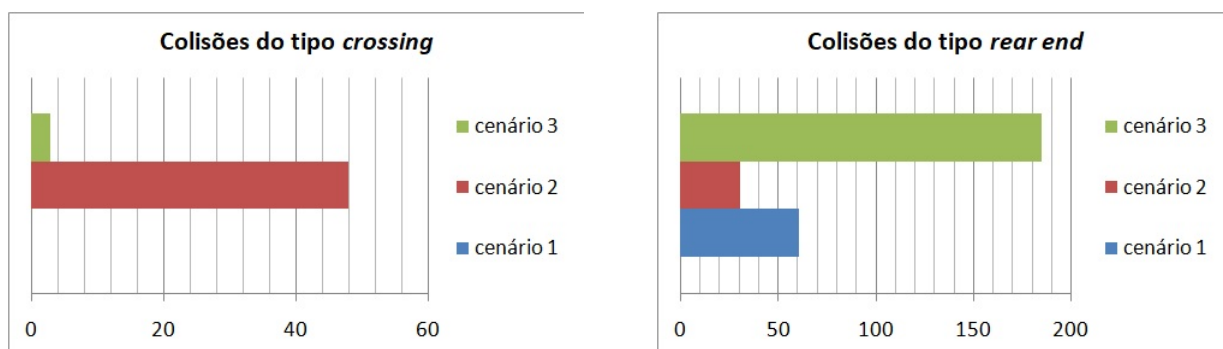
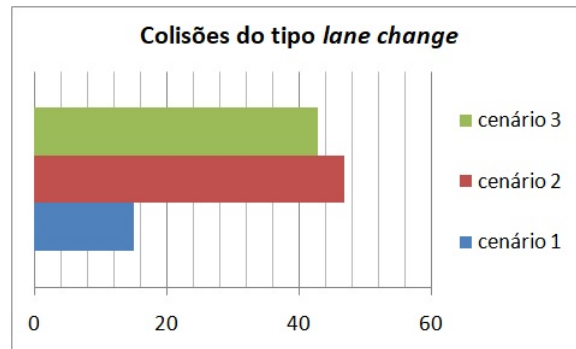
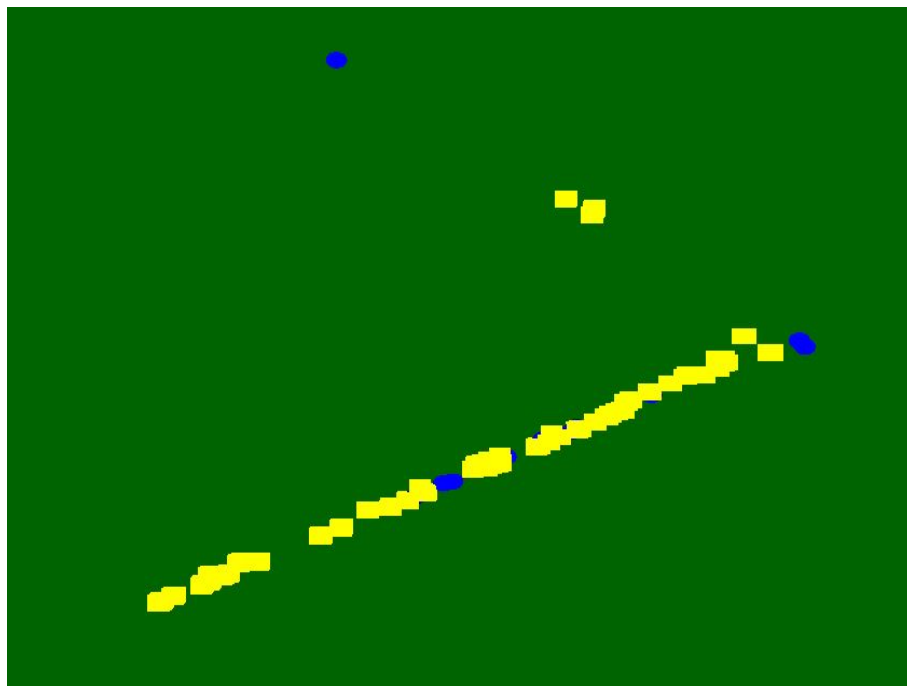


Figura 46: Comparação gráfica dos cenários



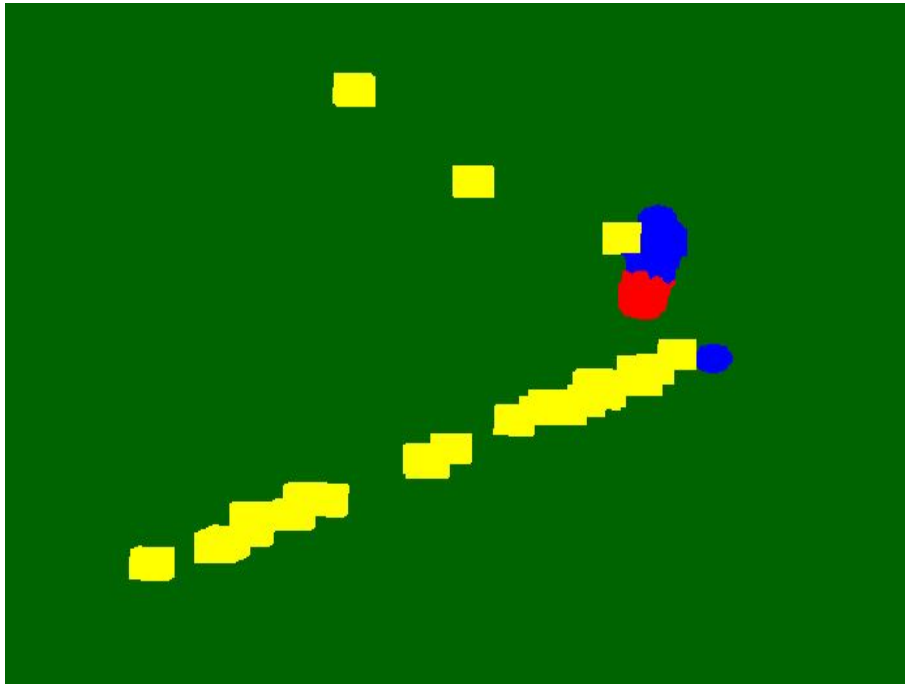
**Mapas de colisão** Os mapas de colisão foram criados, de acordo com os arquivos que contém os dados de trajetórias da microsimulação. Os pontos amarelos representam as colisões traseiras, os pontos azuis as colisões por mudança de faixa e os pontos vermelhos as colisões por travessia.

Figura 47: Mapa de colisões do cenário 1



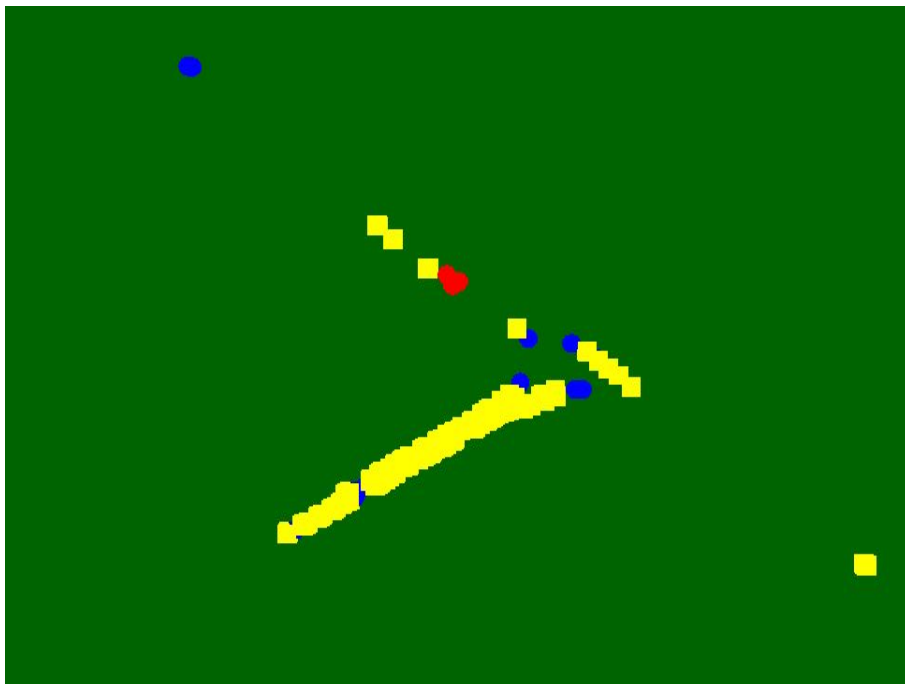
Fonte: adaptado de SSAM (PU et al., 2008).

Figura 48: Mapa de colisões do cenário 2



Fonte: adaptado de SSAM (PU et al., 2008).

Figura 49: Mapa de colisões do cenário 3



Fonte: adaptado de SSAM (PU et al., 2008).

## **Considerações dos resultados**

**Cenário 1** Como o primeiro cenário é o que há mais formação de fila, a grande maioria das colisões são traseiras, provavelmente devido as paradas inesperadas dos veículos.

**Viaduto - Cenário 2** Quando a velocidade da malha aumenta, as colisões traseiras diminuem, sendo a minoria nesse cenário. Aumentas as colisões por mudanças de faixa e nesse caso, as colisões por travessias, já que o viaduto começa com duas faixas de rolamento e termina com uma.

**Dimensionamento dos semáforos - Cenário 3** Nesse cenário novamente há mais paradas devido ao ciclo semaforico mais curto, aumentando as colisões traseiras.

## 6 Conclusões

### 6.1 Considerações finais

Com os estudos de tráfego e planejamento de transportes, visando melhorar a demanda e a qualidade dos deslocamentos viários da população das cidades em geral, faz-se a escolha da ferramenta de análise para o tráfego urbano.

A simulação de tráfego é uma das ferramentas adequada para avaliar os efeitos antes da implantação de um projeto viário, já que os simuladores podem viabilizar experimentos no ambiente virtual, evitando maiores custos e/ou contratempos, tanto para a população afetada pelas mudanças, quanto para o executor da obra. Mostrou-se no trabalho a contextualização dos temas de planejamento de transportes com as técnicas de simulação, bem como a complementação das duas, macrossimulação e microsimulação.

A capacitação para o uso adequado dos simuladores demanda muitas horas de leitura de suas documentações, bem como o treinamento do *software*, majoritariamente com tutoriais encontrados na internet, com conteúdos predominantemente em inglês.

A análise dos resultados da microsimulação foi satisfatória. O cenário 1 era um cenário com maiores formações de filas, tempos semaforicos sem dimensionamento e portanto sem muita adequação com a quantidade de fluxo de veículos por cada aproximação. Com as melhorias propostas, o tempo de atraso da malha diminuiu, principalmente com a inserção do viaduto, obra custosa e com mudanças, devido às obras de construção, para os que transitam pelo local escolhido para sua construção.

Por fim, a análise automatizada dos conflitos com dados da microsimulação através do SSAM, sendo uma ferramenta interessante para análise de possíveis acidentes. Com seus resultados, é possível fazer outras simulações, propondo alternativas, tanto para a diminuição deles, como para propor alternativas de tráfego se eles ocorrerem, minimizando atrasos para os usuários da malha viária.

### 6.2 Sugestões para trabalhos futuros

São recomendações para futuros trabalhos na área de planejamento e operação de tráfego:

- Macrossimulação e microsimulação com dados reais de Florianópolis.
- Realizar procedimentos de calibração e validação do modelo de simulação, antes das análises de resultados.

- Otimização semafórica da interseção com *softwares* específicos, como o *Vistro*, da PTV, *Transyt* da TRL.
- Microssimulação com acidentes nas vias, mostrados pelo SSAM, para avaliação de alternativas de tráfego na ocorrência deles.

## Referências

- BARCELÓ, J. (Ed.). *Fundamentals of Traffic Simulation*. [S.l.]: Springer, 2010. (International Series in Operations Research & Management Science, 145).
- BARCELÓ, J. Fundamentals of traffic simulation. In: \_\_\_\_\_. [S.l.]: Springer, 2011. (International Series in Operations Research & Management Science, 145), cap. Models, Traffic Models, Simulation, and Traffic Simulation, p. 1–62.
- BELL, M.; IIDA, Y. Transport network analysis. *John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England, ISBN 0*, v. 471, p. 96493, 1997.
- BRASIL. *Manual de estudos de tráfego*. Rio de Janeiro, 2006. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Publicação IPR - 723. 384 p.
- CAMPOS, V. B. G. Planejamento de transportes: conceitos e modelos. *Rio de Janeiro: Interciência*, 2013.
- CARDOSO, C. d. P. *Efeitos da definição do zoneamento e de dimensões relacionadas para estudos com modelos de alocação de tráfego*. Tese (Doutorado) — Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 1999.
- CORREIA, A. R. *Introdução a simulação*. São Paulo, 2015.
- CUNTO, F. J. C.; LOUREIRO, C. F. G. O uso da microssimulação na avaliação do desempenho da segurança viária. *TRANSPORTES*, v. 19, n. 3, p. 5–11, 2011.
- Dos Santos, T. B. *Distribuição de viagens*. 2010. Disponível em: <[http://www.politecnica.pucrs.br/professores/terezinha/Transportes/Distribuicao\\_de\\_Viagens\\_1a\\_Parte.pdf](http://www.politecnica.pucrs.br/professores/terezinha/Transportes/Distribuicao_de_Viagens_1a_Parte.pdf)>. Acesso em: 29 out. 2018.
- DUARTE, D. C. S. *LIPSTUD Um Método de Otimização de Fluxo de Trafego Baseado em Proibição e Permissão de Conversões*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Goiás, 2012.
- ESRI, E. *Shapefile Technical Description, Jul. 1998*. 1998.
- FERREIRA, E. A. *Um método de utilização de dados de pesquisa embarque/desembarque na calibração de modelos de distribuição do tipo gravitacional*. Tese (Doutorado), 1999.
- FHWA. *Traffic Analysis Toolbox Volume I: Traffic Analysis Tools Primer*. [S.l.]: Federal Highway Administration, 2004.
- FHWA. *Traffic Analysis Toolbox Volume II: Decision Support Methodology for Selecting Traffic Analysis Tools*. [S.l.]: Federal Highway Administration, 2004.
- FHWA. *Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software*. [S.l.]: Federal Highway Administration, 2004.
- GORISSEN, D. et al. A surrogate modeling and adaptive sampling toolbox for computer based design. *Journal of Machine Learning Research*, v. 11, n. Jul, p. 2051–2055, 2010.

- Governo de Santa Catarina. *PLAMUS - Plano de Mobilidade Urbana Sustentável da Grande Florianópolis - Entendimento do zoneamento e infraestrutura urbana*. 2014. Disponível em: <[http://observatoriodamobilidadeurbana.ufsc.br/files/2016/05/PLAMUS\\_Produto\\_2\\_Entendimento\\_do\\_Zoneamento\\_e\\_Infraestrutura\\_Urbana.pdf](http://observatoriodamobilidadeurbana.ufsc.br/files/2016/05/PLAMUS_Produto_2_Entendimento_do_Zoneamento_e_Infraestrutura_Urbana.pdf)>. Acesso em: 25 out. 2018.
- Governo de Santa Catarina. *PLAMUS - Plano de Mobilidade Urbana Sustentável da Grande Florianópolis - Resultado das Pesquisas de Campo: Domiciliar de Origem e Destino, Preferência Declarada, Imagem, Linha de Contorno*. 2014. Disponível em: <<http://www.spg.sc.gov.br/visualizar-biblioteca/acoes/regiao-metropolitana/1066--300/file>>. Acesso em: 25 out. 2018.
- HSIAO, S. et al. Use of geographic information system for analysis of transit pedestrian access. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Transportation Research Board of the National Academies, n. 1604, p. 50–59, 1997.
- IBGE. caracterização dos espaços rurais e urbanos do brasil-uma primeira aproximação. *Rio de Janeiro: IBGE*, 2017.
- IBGE, I. B. de Geografia e E. *Base de informações do Censo Demográfico 2010: resultados do universo por setor censitário*. [S.l.]: IBGE Rio de Janeiro, 2011.
- LEITE, R. G. Aplicação dos modelos de estimação da matriz origem-destino (o/d) em planejamento de transporte urbano. 2003.
- LEWIS, S. Use of geographical information systems in transportation modeling. *ITE journal*, Citeseer, v. 60, n. 3, p. 34–38, 1990.
- LINO, N.; FERREIRA, N. *Introdução ao Quantum Gis*. 201–?. Disponível em: <[https://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/cursos\\_online/qgis/dados\\_vetoriais.html](https://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/cursos_online/qgis/dados_vetoriais.html)>. Acesso em: 30 out. 2018.
- LOPES, L. *Série Quebrando tabus - Ferramenta Dissolver no QGIS*. 201–?. Disponível em: <<http://www.geoluislopes.com/2011/08/serie-quebrando-tabus-ferramenta.html>>. Acesso em: 30 out. 2018.
- MATHEW, T. V.; RAO, K. K. Fundamental parameters of traffic flow. *NPTEL (may 2006)*, 2006.
- MEDEIROS, V. *Urbis Brasiliae, ou sobre cidades do Brasil. 2006*. Tese (Doutorado) — Dissertação (Mestrado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- MELLO, J. C. *Planejamento dos transportes urbanos*. [S.l.]: Editora Campus, 1981. v. 3.
- MENDES, A. B. Simulação de monte carlo. *Ok, computer!: confluências na informática.*, Influid, p. 26–27, 2011.
- MEYER, M. D. *Transportation planning handbook*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2016.
- MORAIS, M. d. P.; COSTA, M. A. et al. Infraestrutura social e urbana no brasil: subsídios para uma agenda de pesquisa e formulação de políticas públicas. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2010.
- NOVAES, A. G. *Modelos em planejamento urbano, regional e de transportes*. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1981.
- NOVAES, A. G. *Sistemas de transportes*. [S.l.]: Editora E. Blücher, 1986. v. 1.
- O'FLAHERTY, C.; BELL, M. G. *Transport planning and traffic engineering*. [S.l.]: Elsevier, 1997.



- ORTUZAR, J. D. D.; WILLUMSEN, L. G. *Modelling Transport*. 3. ed. [S.l.]: Wiley, 2001.
- PAIVA, C. *Modelos tradicionais transporte e tráfego*. 2010. Disponível em: <[https://www.sinaldetransito.com.br/artigos/modelos\\_tradicionais.pdf](https://www.sinaldetransito.com.br/artigos/modelos_tradicionais.pdf)>. Acesso em: 17 out. 2018.
- PIETRANTONIO, H. Manual de procedimento de pesquisa para análise de conflitos de tráfego em interseções. *Publicação Interna, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo*, 1991.
- PTV, A. Ptv vissim 10 user manual. *Karlsruhe, Germany*, 2018.
- PTV, A. Ptv visum 17 user manual. *Karlsruhe, Germany*, 2018.
- PU, L. et al. *Surrogate Safety Assessment Model (SSAM) – software user manual*. [S.l.], 2008.
- Quantum GIS Development Team. *Quantum GIS Geographic Information System*. [S.l.], 2009. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>.
- ROSE, A. *Uma avaliação comparativa de alguns sistemas de informação geográfica aplicados aos transportes*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2001.
- SANTOS, L. dos; FERREIRA, D. L. Sistema de informação geográfica aplicado ao planejamento de trânsito e transportes. *Caminhos de Geografia*, v. 5, n. 12, p. 94–113, 2004.
- SARAIVA, M. A cidade e o tráfego: uma abordagem estratégica. *Recife: UFPE*, 2000.
- SILVA, J. de C.; MONTEIRO, G. O.; PAMBOUKIAN, S. V. D. Sistema de informações geográficas (sig). 2015.
- SILVA, P. C. M. d. Teoria do fluxo de tráfego. *Apostila, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil*, 2001.
- SPIRO, K. The city shaped: urban patterns and meanings through history. *Thames and Hudson,, Londres*, 2001.
- TAVARES, J. P.; PEREIRA, J. *Modelos de simulação e de previsão de tráfego*. Portugal, 2015.
- WEBSTER, F. V.; COBBE, R. B. M. *Traffic Signals. Road Research Technical Paper No. 56*. London: Her Majesty's Stationery Office, 1966. (Road research technical paper).
- WIEDEMANN, R. Simulation des strassenverkehrsflusses. 1974.

# Anexos

## A ANEXO A - MÉTODO PARA GERAÇÃO DE DADOS FICTÍCIOS DE DEMANDA PARA ÁREAS DE ESTUDO DE TRANSPORTE URBANO

Florianópolis, 13 de novembro de 2018

## **ECV5157 – Planejamento de Transportes Urbanos**

### **Método para geração de dados fictícios de demanda para áreas de estudo de transporte urbano**

#### **1 Objetivo**

Gerar arquivos com todos os dados fictícios complementares necessários para a execução completa das três primeiras etapas do Modelo 4 Etapas de Transportes, no âmbito do trabalho da disciplina, envolvendo:

- a aplicação do método de regressão multivariada na etapa de geração;
- uma verificação do modelo gravitacional e aplicação do método Furness na etapa de distribuição;
- a aplicação do modelo logit binomial na etapa de divisão modal.

Os arquivos produzidos por este método devem conter os seguintes dados:

- matrizes OD atuais de hora de pico da manhã para os transportes privado e público;
- dados socioeconômicos relacionados com a atração para cada zona de tráfego;
- valores para as características que compõem a função utilidade para o modelo logit binomial a ser utilizado na divisão modal.

Os dados devem ser gerados de forma que todas as regressões envolvidas com as etapas tenham coeficientes de determinação  $r^2$  e  $p$ -values dentro de intervalos pré-estabelecidos.

## 2 Dados de entrada

- *Shapefile* de centroides, gerados através do processamento em SIG dos dados de zonas de tráfego do IBGE, com colunas de atributos contendo os seguintes dados, também obtidos junto ao IBGE:

1. identificador único;
2. população total da zona;
3. renda média da zona;

onde os dados de população e renda média são os dados socioeconômicos relacionados com a produção de viagens.

- Arquivo de matriz *skim* de tempos de viagem em minutos em formato CSV gerada com o VISUM, a partir dos dados dos centroides e da malha viária modelada.

## 3 Procedimento

1. Determinar tempos de viagem intrazonais, com:

- (a) Calcular a distância média entre o centroide analisado e os três centroides mais próximos e assumir como raio  $r$  de uma zona de tráfego circular.
- (b) Calcular a distância média de percurso intrazonal, considerando zonas circulares de raio  $r$  com:

$$\overline{D} = \frac{r}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

- (c) Calcular o tempo de viagem, em minutos, usando velocidade média de 50 km/h.
2. Determinar o número de viagens produzidas em cada centroide  $P_i$ , com base nos dados socioeconômicos de população e renda e em uma função arbitrada, aplicando uma perturbação randômica.
  3. Calcular o  $r^2$  e os *p-values* da regressão multivariada da produção. Se os valores não estiverem dentro de um intervalo determinado, voltar ao passo 2.
  4. Calcular o  $\overline{X}$  e o  $\overline{Y}$  a partir das coordenadas dos centroides.
  5. Determinar os valores de atração  $A_i$  para cada centroide com base no total de produção e na proporcionalmente à proximidade a  $(\overline{X}, \overline{Y})$ , de forma que a atração seja maior quanto mais o centroide estiver central na área de estudo. No resultado temos  $\sum P_i = \sum A_i$ .

6. Calcular o número de viagens entre cada par de centroides com base nos dados de produção, atração, distâncias e em um modelo gravitacional com  $\beta$  arbitrado, utilizando o método vinculado, para manter os valores de produção e atração já determinados em 2 e 5.
7. Checar a calibração de um modelo gravitacional sobre os dados da matriz OD determinada em 6 e os dados de produção e atração determinados em 2 e 5. Caso o  $r^2$  encontrado ficar fora de um intervalo determinado, voltar ao passo 2. Caso o número de tentativas ultrapasse um valor limite, continuar para o passo 8.
8. Determinar os dados socioeconômicos relacionados com a atração (emprego e volume de produção), com base nos dados de atração e utilizando funções arbitradas, aplicando perturbações randômicas.
9. Calcular o  $r^2$  e os  $p$ -values da regressão multivariada da atração. Se os valores não estiverem dentro de um intervalo determinado, voltar ao passo 8.
10. Projetar os dados socioeconômicos relacionados com a produção e com a atração para o futuro com base em taxas de crescimento arbitradas.
11. Calcular a produção e a atração futuras com base nos dados obtidos em 10 e nas regressões encontradas em 3 e 9. Corrigir os dados de atração com base nos dados de produção para fazer  $\sum P_i = \sum A_i$ .
12. Realizar o procedimento de divisão modal por Furness com base na matriz OD atual determinada em 6 e nos dados de produção e atração futuros determinados em 11, com um erro aceitável determinado. Somente verificar o número de iterações necessárias.
13. Gravar em um arquivo em formato XLS os dados socioeconômicos relacionados com a atração (já aproveitando para colocar junto os dados de entrada relacionados com a produção).
14. Determinar as proporções de transporte privado e público atuais para os pares OD com base nos dados de tempo de percurso e em funções arbitradas para calcular os dados de utilidade (custo e tempo de percurso) e para uma regressão de logit binomial.
15. Determinar os valores para os dados de utilidade utilizando funções arbitradas e aplicando variações randomicas.
16. Calcular o  $r^2$  e os  $p$ -values da regressão para calibração do modelo logit binomial. Se os valores não estiverem dentro de um intervalo determinado, voltar ao passo 15.
17. Gravar em um arquivo em formato XLS os dados das matrizes OD atuais de transporte privado e público.
18. Gravar em um arquivo em formato XLS os dados de número de viagens por modo de transporte e os respectivos valores das utilidades atuais.